Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada

Sciences des écosystèmes et des océans | Ecosystems and Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2018/032

Région du Pacifique

Profils de la saisonnalité et de la répartition relative du rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) dans les eaux du Pacifique canadien inférés grâce à la surveillance acoustique passive

James F. Pilkington[1], Eva H. Stredulinsky[1,2], Robin M. Abernethy[1], John K.B. Ford[1]

[1]Pêches et Océans Canada
Station biologique du Pacifique
3190, chemin Hammond Bay, Nanaimo (Colombie-Britannique) V9T 6N7

[2]Applied Conservation Science Lab
Université de Victoria
3800, rue Finnerty
Victoria (Colombie-Britannique) V8P 5C2

Septembre 2018

Canada

Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours. La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien de consultation scientifique
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2018
ISSN 2292-4272

La présente publication doit être citée comme suit :

Pilkington, J.F., Stredulinsky, E.H., Abernethy, R.M., et Ford, J.K.B. 2018. Profils de la saisonnalité et de la répartition relative du rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) dans les eaux du Pacifique canadien inférés grâce à la surveillance acoustique passive. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc de rech. 2018/032. vi + 30 p.

Also available in English:

Pilkington, J.F., Stredulinsky, E.H., Abernethy, R.M., and Ford, J.K.B. 2018. Patterns of Fin whale (Balaenoptera physalus) Seasonality and Relative Distribution in Canadian Pacific Waters Inferred from Passive Acoustic Monitoring. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2018/032. vi + 26 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ VI
1 INTRODUCTION 1
2 MÉTHODES 2
2.1 COLLECTE ET TRAITEMENT DES DONNÉES 2
2.2 CALCUL DE LA PUISSANCE ACOUSTIQUE ET DES INDICES DES APPELS DES RORQUALS COMMUNS 2
2.3 CORRECTION ZONE-TRANSMISSION-PERTE 4
2.4 COMPARAISON DES DIELS 6
3 RÉSULTATS 7
3.1 DONNÉES ET EFFORT 7
3.2 ZONES DE PERTE DE TRANSMISSION 7
3.3 ACTIVITÉ DU RORQUAL COMMUN 8
3.4 COMPARAISON DES DIELS 9
4 DISCUSSION 9
4.1 EMPLACEMENTS DES BALEINES ÉMETTANT DES APPELS 9
4.2 TENDANCES SAISONNIÈRES ET GÉOGRAPHIQUES DES CHANTS DES RORQUALS COMMUNS EN COLOMBIE-BRITANNIQUE 10
4.3 PROFILS DES APPELS DIELS 12
4.4 LIMITES DES HYPOTHÈSES 13
5 CONCLUSIONS 14
6 REMERCIEMENTS 15
7 RÉFÉRENCES 16
8 TABLEAUX 19
9 FIGURES 20
10 ANNEXE 30

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Détails sur les déploiements des dispositifs d'enregistrement acoustique dans le cadre de cette étude 19

LIST OF FIGURES

Figure 1 – Carte de la côte de la Colombie-Britannique montrant les emplacements où sont recueillies des données dans le cadre de cette étude. Elle comporte les isobathes de 200, 300, 1 000 et 1 500 m. 20

Figure 2 – Spectrogrammes des chants du rorqual commun dans : a) le détroit de Caamaño et b) le sud-ouest du détroit d'Hécate. 21

Figure 3 – Diagramme de quartiles montrant les valeurs de l'indice des appels quotidiens moyens corrigé par mois pour chaque site d'enregistrement, corrigé pour tenir compte de la zone de perte de transmission. 22

Figure 4 – Diagramme de quartiles montrant la plage des valeurs de l'indice des appels quotidiens moyens corrigé durant la période s'échelonnant entre le 1er septembre et le 31 janvier pour toutes les années et tous les emplacements disponibles; les données sont corrigées pour que l'on tienne compte de la zone de perte de transmission. 23

Figure 5 – Carte montrant les emplacements des dispositifs d'enregistrement acoustiques. 24

Figure 6 – Carte montrant les emplacements des dispositifs d'enregistrement avec des cercles radiaux de 150 km qui dépeignent les zones sur la superficie desquelles la perte de transmission a été mesurée. 25

Figure 7 – Zones de perte de transmission pour tous les emplacements équipés d'un dispositif d'enregistrement. 26

Figure 8 – Puissance additionnée de F_{commun} (panneau du haut) et de F_{bruit} (panneau du bas) à des intervalles d'une demi-heure pour chaque jour entre le 1er octobre et le 31 janvier à la péninsule Brooks. 27

Figure 9 – Puissance additionnée de F_{commun} (panneau du haut) et de F_{bruit} (panneau du bas) à des intervalles d'une demi-heure pour chaque jour entre le 1er octobre et le 31 janvier aux dômes Dellwood. 28

Figure 10 – Puissance additionnée de F_{commun} (panneau du haut) et de F_{bruit} (panneau du bas) à des intervalles d'une demi-heure pour chaque jour entre le 1er octobre et le 31 janvier dans le sud-ouest du détroit d'Hécate. 29

Figure A1 – Indices des appels quotidiens moyens non corrigés, à des fins de référence. 30

RÉSUMÉ

Nous avons utilisé des données acoustiques provenant de huit emplacements différents répartis dans l'ensemble des eaux marines de la Colombie-Britannique pour examiner les tendances géographiques et saisonnières affichées par les appels du rorqual commun. Les données ont été analysées en utilisant une méthode d'analyse de la puissance acoustique ayant permis d'élaborer un indice des appels qui soit lié à l'intensité de l'activité sonore dans des bandes de fréquences qui sont pertinentes pour les chants du rorqual commun. Les résultats de la détection ont été corrigés pour que l'on puisse tenir compte de différences propres au site au chapitre de la propagation des sons et du bruit ambiant, afin d'être en mesure de comparer les indices des appels entre les emplacements et entre les saisons. Nous avons également étudié les tendances dans les appels diels pour inférer les profils d'utilisation de l'habitat entre les sites. Parmi les sites ayant fait l'objet d'une analyse, on a entendu des chants durant tous les mois d'automne et d'hiver; en particulier, les sites de la région du détroit d'Hécate présentaient l'activité la plus élevée et la plus soutenue. Les périodes du pic des chants dans le détroit d'Hécate étaient décalées sur le plan saisonnier par rapport aux périodes de pic à tous les autres sites ayant fait l'objet d'une analyse, ce qui indique la possibilité d'un déplacement saisonnier dans la région du détroit d'Hécate durant le point culminant de la saison de reproduction. Les pics dans les chants correspondant aux périodes de reproduction et de mise bas estimées des rorquals communs dans le Pacifique Nord et en Colombie-Britannique permettaient de soutenir les résultats d'études acoustiques antérieures, lesquels indiquaient qu'une activité de reproduction se déroulait vraisemblablement dans ces eaux. Des profils diels dans les appels ont été observés sur un site extracôtier ainsi que sur un site de la côte ouest de l'île de Vancouver, mais aucun profil diel n'a été observé dans le détroit d'Hécate. Nos résultats seront utiles pour soutenir les efforts visant à relever les habitats importants du rorqual commun en Colombie-Britannique, mais mettent également en lumière la nécessité de mener des études plus poussées pour combler les lacunes dans les données géographiques ainsi que les lacunes dans les profils saisonniers associées à l'effort déployé en hiver à bord de navires scientifiques.

1 INTRODUCTION

Le rorqual commun qui fréquente les eaux du Pacifique canadien figure sur la liste des espèces en péril comme étant « menacé » en vertu de la *Loi sur les espèces en péril* en raison d'un épuisement lié à des efforts intenses de chasse à la baleine déployés au large de la côte de la Colombie-Britannique au début et jusqu'au milieu des années 1900 (Gregr *et al.* 2006, COSEPAC 2005). Au cours de la dernière décennie, des efforts de recherche ont été consentis pour tenter de relever des zones d'habitat essentiel dans le but de contribuer au rétablissement de cette espèce au large de la côte Pacifique du Canada. Dans le cadre de ces efforts et de recherches simultanées sur d'autres espèces de cétacés fréquentant les eaux du Pacifique et inscrits sur la liste de la LEP, le personnel du Programme de recherche sur les cétacés (PRC) de la Station biologique du Pacifique a recueilli des données de surveillance acoustique passive (SAP) à long terme en utilisant plusieurs types de dispositifs d'enregistrement acoustique autonomes sous-marins dans le but d'évaluer la répartition et la saisonnalité affichés par l'occurrence du rorqual commun en Colombie-Britannique.

Les chants et les appels du rorqual commun figurent parmi les vocalisations de grandes baleines les mieux étudiées au monde, ce qui fait de cette espèce une bonne candidate pour des études reposant sur la SAP. Cette espèce est connue pour émettre plusieurs types d'appels (p. ex., Watkins 1981, Thompson *et al.* 1992, Širović *et al.* 2013, Oleson *et al.* 2014, Koot 2015), l'appel le mieux étudié utilisé dans les études reposant sur la SAP étant l'« impulsion de 20 Hz » (Watkins *et al.* 1987), qui est de brève durée (< 1 s.) et qui affiche un balayage vers le bas centré aux alentours de 20 Hz. Les chants produits par les rorquals communs mâles sur une base saisonnière sont principalement composés de séquences structurées d'appels de 20 Hz (Watkins *et al.* 1987, Thompson *et al.* 1992, Croll *et al.* 2002). Comme seuls les chants des rorquals communs mâles sont la plupart du temps produits durant la saison estimée de reproduction de l'espèce, le comportement sonore de l'espèce (comme chez d'autres baleines à fanons) pourrait servir à des fins de reproduction (Payne et McVay 1971, Watkins *et al.* 1987). Un petit nombre d'études ont examiné la présence et la saisonnalité du chant du rorqual commun dans les eaux de la Colombie-Britannique (p. ex., Watkins *et al.* 2000, Stafford *et al.* 2005, Koot 2015), documentant la persistance des chants tout au long de l'hiver (une période durant laquelle l'effort de relevé par navire scientifique est minime), ce qui donne à penser que les rorquals communs pourraient utiliser les eaux de la Colombie-Britannique à des fins de reproduction. Cependant, la portée géographique de ces études était limitée, et elles n'ont pas permis d'effectuer des comparaisons de l'activité sonore relative entre les emplacements dans l'ensemble des eaux de la Colombie-Britannique pour établir les zones d'importance potentielle.

Le succès de l'utilisation de la SAP dans l'examen de la saisonnalité et de la répartition des appels du rorqual commun dans d'autres emplacements autour du monde (p. ex., Curtis *et al.* 1999; Watkins *et al.* 2000; Simon *et al.* 2010; Nieukirk *et al.* 2012, Širović *et al.* 2004, 2009, 2015; Oleson *et al.* 2014; Sciacca *et al.* 2015) indique que la réalisation d'études semblables dans le Pacifique canadien pourrait nous offrir un éclairage sur l'utilisation à vaste échelle de l'habitat par le rorqual commun dans ces eaux. Lorsqu'elles sont couplées avec des données provenant d'autres plateformes (p. ex., Nichol *et al.* 2017), les études reposant sur la SAP peuvent aider à établir les régions d'importance pour la désignation de l'habitat essentiel.

Durant cette étude, nous avons visé à examiner les niveaux relatifs et la saisonnalité du chant du rorqual commun parmi plusieurs sites des eaux de la Colombie-Britannique en vue de contribuer aux efforts actuellement consentis pour relever les zones fortement utilisées qui pourraient représenter un habitat essentiel pour le rorqual commun dans le Pacifique canadien.

Nous examinons également les tendances géographiques dans la saisonnalité des appels des rorquals communs en Colombie-Britannique.

2 MÉTHODES

2.1 COLLECTE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données utilisées dans la présente étude ont été recueillies à l'aide de dispositifs d'enregistrement autonomes AURAL-M2 (multi-électronique), SM2M (acoustique de la faune) et AMAR G3 (JASCO Applied Sciences), lesquels ont été déployés à huit emplacements différents au large de la côte de la Colombie-Britannique (figure 1) durant différentes périodes entre 2009 et 2015 (voir le tableau 1 pour obtenir des détails sur le déploiement). Les emplacements n'ont pas été choisis de manière explicite pour cibler les rorquals communs; ceux-ci se trouvaient souvent dans des emplacements où bon nombre de facteurs, comme les contraintes géographiques pour le mouillage des navires de croisière, l'intensité locale de l'effort de pêche, les études portant sur d'autres espèces d'intérêt et le chevauchement avec les efforts d'observation consentis à bord de navires scientifiques étaient équilibrés. Les dispositifs d'enregistrement étaient configurés pour enregistrer des facteurs de charge de 30 % (habituellement 4,5 minutes d'enregistrement et 10,5 minutes de pause, les cycles étant enregistrés indéfiniment jusqu'à l'épuisement des piles; voir le tableau 1 pour obtenir des détails sur des facteurs de charge particuliers pour chaque déploiement), à l'exception d'un déploiement effectué dans l'est du détroit d'Hécate, lequel permettait d'enregistrer un facteur de charge de 6 % (2 minutes d'enregistrement, 28 minutes de pause). Les dispositifs AURAL étaient configurés pour fusionner les enregistrements obtenus durant plusieurs cycles d'enregistrement dans un seul dossier WAV. Avant les analyses, ces dossiers AURAL WAV fusionnés étaient subdivisés et renommés avec de l'information sur les heures système en utilisant des scripts personnalisés reposant sur le langage Java fournis par JASCO Applied Sciences. Les enregistrements étaient ensuite échantillonnés vers le bas jusqu'à atteindre 1 024 Hz en utilisant la fonction « taux » du logiciel de code source ouvert SoX - *Sound eXchange* v14.4.

2.2 CALCUL DE LA PUISSANCE ACOUSTIQUE ET DES INDICES DES APPELS DES RORQUALS COMMUNS

Durant certaines périodes, à certains emplacements du large de la côte de la Colombie-Britannique où le PRC a été lancé, les données acoustiques affichent une « bande d'appel continue », telle que décrite dans Watkins et ses collaborateurs (2000), Širović et ses collaborateurs (2004) et Simon et ses collaborateurs (2010), où le nombre et la plage des appels simultanés du rorqual commun causent l'indicernabilité de vocalisations individuelles. Dans ces cas, les appels ne sont évidents en tant que bande continue qu'aux alentours de 20 Hz dans un spectrogramme. On a montré que l'analyse des données à l'aide de détecteurs automatisés reposant sur la détection des appels individuels sous-représentait l'intensité réelle de l'activité sonore durant ces périodes de pic (Širović *et al.* 2004). Considérant cela, nous avons choisi d'utiliser une technique publiée reposant sur la mesure de la puissance acoustique au sein de bandes de fréquences représentatives des appels du rorqual commun en tant qu'indicateur de l'intensité des appels, comme dans Širović et ses collaborateurs (2004, 2009, 2015), Simon et ses collaborateurs (2010) et Nieukirk et ses collaborateurs (2012).

Pour être en mesure de calculer l'indice des appels du rorqual commun, nous avons eu besoin de pouvoir comparer l'énergie acoustique au sein de largeurs de bande très étroites (1 à 2 Hz). La densité spectrale de la puissance acoustique représente de façon exacte l'énergie sonore au sein de largeurs de bandes très étroites. Comme dans Širović et ses collaborateurs (2004,

2009, 2015), nous avons utilisé le traitement numérique du signal en tant que mesure du son pour calculer l'indice des appels du rorqual commun. Nous avons utilisé le guide de la SAP (Merchant *et al.* 2015) dans R3.0.0 (équipe de base R 2013) pour calculer le traitement numérique du signal étalonné pour chaque série chronologique correspondant à un emplacement dans des fréquences binaires de 1 Hz (fenêtre d'une seconde, chevauchement de 50 %), avec une moyenne de temps de cinq secondes (Welch 1967) en utilisant les spécifications techniques de chaque dispositif d'enregistrement et de chaque hydrophone, ainsi que le réglage du gain défini par l'utilisateur. Pour le dispositif AMAR G3, la sensibilité du système de bout en bout était disponible et a été utilisée au lieu des spécifications techniques des dispositifs d'enregistrement et des hydrophones.

En utilisant le traitement numérique du signal, on a calculé l'indice des appels du rorqual commun en tant que différence instantanée entre la bande des appels du rorqual commun (F_{commun}) et la bande du bruit ambiant (F_{bruit}) (figure 2a, b). L'énergie à 22 Hz a été utilisée comme F_{commun} parce que cette fréquence se chevauche avec les deux notes qui sont émises en alternance et qui composent le « doublet » des chants du rorqual commun en Colombie-Britannique (note classique et note au second plan; Koot 2015). En adaptant des méthodes tirées de Širović et ses collaborateurs (2015), Simon et ses collaborateurs (2010) et Nieukirk et ses collaborateurs (2012), nous avons calculé F_{bruit} comme étant la moyenne linéaire du bruit à 13-14 Hz et à 37-38 Hz pour exclure l'appel typique du rorqual commun de 20 Hz dans notre zone d'étude. Nous avons présumé que le bruit dont les fréquences s'échelonnent entre 13 et 38 Hz était linéaire et représentatif du bruit à 22 Hz en l'absence d'appels du rorqual commun, comme dans Širović et ses collaborateurs (2015) et Simon et ses collaborateurs (2010). Effectivement, l'indice des appels du rorqual commun est une mesure de la quantité d'énergie avec laquelle les chants des rorquals communs contribuent aux niveaux de bruit ambiant dans la bande des 22 Hz. Les rorquals communs du Pacifique Nord-Est sont connus pour utiliser d'autres appels, outre les impulsions à « 20 Hz » (p. ex. les « appels à 40 Hz » - Širović *et al.* 2013). Cependant, nous avons choisi d'utiliser une valeur de F_{commun} qui se chevauche avec les « impulsions à 20 Hz », en particulier parce que cet appel affiche le moins de variabilité dans les vocalisations durant la saison de reproduction, parce qu'il présente une fréquence qui se chevauche le moins avec celle des appels d'autres espèces dans la zone d'étude et parce qu'il domine dans les chants (Watkins 1981; Koot 2015); il peut donc être utilisé comme un indicateur du comportement reproducteur même si son rôle exact dans la reproduction n'est pas encore très bien connu (Watkins *et al.* 1987; Croll *et al.* 2002).

Nous avons appliqué des facteurs de correction mensuels et propres aux sites (voir la section 2.3 pour obtenir des détails sur la création) aux valeurs instantanées de l'indice des appels du rorqual commun pour chaque mois et à chaque site de déploiement pour rendre compte de différences dans la perte de transmission et dans la zone de détection. Le facteur de correction a été appliqué en divisant chaque valeur instantanée de l'indice des appels du rorqual commun par le mois approprié et par le facteur de correction du site dans l'espace linéaire, puis nous avons converti l'indice en unités de dB. Après la correction, on a calculé la moyenne des valeurs instantanées de l'indice des appels du rorqual commun par jour et par mois (dans l'espace linéaire, avec une conversion subséquente en dB).

Pour nous assurer que les résumés des indices des appels du rorqual commun étaient représentatifs des appels réels de cette espèce, nous avons effectué une vérification qualitative manuelle d'une sélection aléatoire d'enregistrements pour chaque mois et pour chaque site. Outre l'inspection manuelle des enregistrements, nous avons inspecté la série chronologique des indices des appels du rorqual commun pour tenter de déceler les anomalies éventuelles. Après l'inspection, dans le cas où des tendances anormales étaient observées, nous avons inspecté manuellement les enregistrements particuliers pour déceler toutes les sources de bruit

affichant des anomalies (p. ex., bruit de tapotement et sons émis par des rorquals autres que le rorqual commun). Dans le cas où une telle source de bruit était relevée, la section pertinente de la série chronologique a été supprimée de l'ensemble des données.

Tous les calculs des indices des appels des rorquals communs et les figures ont été effectués dans R v3.0.0 (équipe de base de R 2013). Les cartes ont été produites en utilisant la trousse R de cartographie de la Station biologique du Pacifique (Schnute *et al.* 2013).

2.3 CORRECTION ZONE-TRANSMISSION-PERTE

Notre objectif était de comparer les résultats obtenus entre les différents emplacements où étaient déployés des hydrophones pour déterminer si un emplacement ou une région donné affichait davantage d'activité au chapitre des appels du rorqual commun que d'autres. Helble et ses collaborateurs (2013a, b) ont souligné la nécessité de corriger les détections pour tenir compte de différences propres aux sites dans la propagation des sons et dans les niveaux de bruit ambiant. En utilisant les indices des appels du rorqual commun, qui est une méthode reposant sur un rapport entre le signal et le bruit, nous devions, non seulement prendre en considération la zone de détection (la zone totale d'où pouvaient provenir les appels reçus par les hydrophones), mais aussi les caractéristiques de la perte de transmission des sons dans une zone de détection donnée. Ceci est important, parce que les niveaux reçus varient selon l'endroit où les rorquals communs émettent leurs appels par rapport à celui de l'hydrophone; le nombre de baleines qui émettent des appels peut varier selon la taille totale de la zone de détection autour de chaque site équipé d'un hydrophone; les zones de détection varient pour chaque site équipé d'un hydrophone en raison de différences dans les niveaux globaux de bruit ambiant et dans les caractéristiques de la propagation, qui affectent le rapport entre le signal et le bruit.

Comme première étape du calcul d'un facteur de correction pour chaque site, nous avons modélisé la perte de propagation d'une « impulsion de 20 Hz » d'un rorqual commun simplifiée (sans balayage vers le bas) pour chaque emplacement durant le mois d'octobre. Comme dans Širović et ses collaborateurs (2015) nous avons utilisé le cadre du logiciel avec code source ouvert. banc de travail sur les effets du son sur l'environnement marin 2012 (D. Mountain, Boston University) pour modéliser la perte de transmission en utilisant le modèle acoustique dépendant de la plage des valeurs reposant sur l'équation parabolique, un modèle bien adapté pour les environnements dépendants de la plage des valeurs et pour les sons de faible fréquence à des profondeurs de l'eau telles que celles enregistrées dans notre zone d'étude (Collins 1993; Farcas *et al.* 2015). En particulier, nous avons utilisé RAMGeo, qui permet de rendre compte des couches sédimentaires dépendantes de la plage des valeurs. On a effectué la simulation le long de 32 radiaux centrés sur l'emplacement de l'hydrophone sur une distance maximale de 150 km de celui-ci. Le logiciel ESME a utilisé des bases de données environnementales constituées de la bibliothèque générale océanographique et atmosphérique pour acquérir des données bathymétriques propres à un emplacement en particulier (de la Digital Bathymetry Database v5.4 avec une résolution de 0,5 min), les profils de la vitesse du son (calculés avec une résolution de 15 min à partir de données sur la température et la salinité de l'eau grâce au Generalized Digital Environment Model v3.0), la composition des sédiments du fond (à partir de Bottom Sediment Type v2.0 avec une résolution de 5 min) et la réflectivité à la surface de la mer (à partir de la vitesse du vent calculée par Surface Marine Gridded Climatology v2 avec une résolution de 60 min) pour chacun des sites qui étaient équipés d'un hydrophone utilisés dans notre étude. Ces modèles ne tenaient pas compte des fluctuations dans la profondeur de l'eau causées par les marées, dont les effets pourraient être importants dans les zones peu profondes comme celle du détroit d'Hécate (Farcas *et al.* 2015).

Pour déterminer s'il convient de tenir compte de différences dans les conditions environnementales saisonnières, nous avons d'abord exécuté le modèle pour chaque mois de l'année au site équipé d'un hydrophone des dômes Dellwood. La perte de transmission sur 150 km affichait une différence de moins de 5 dB entre les mois, de sorte que nous avons choisi de n'utiliser que les données environnementales du mois d'octobre à tous les sites, en présumant que les différences entre les mois aux divers sites seraient négligeables, comme cela s'est révélé être le cas durant l'essai de Dellwood. Durant l'essai de Dellwood, le mois d'octobre était celui qui affichait le moins de variation dans la perte de transmission parmi tous les autres mois de l'année.

Nous avons défini la fréquence de l'appel source comme étant 22 Hz, car c'est la fréquence que nous avons utilisée pour établir F_{commun} pour le calcul de l'indice des appels du rorqual commun (Watkins *et al.* 1987, Koot 2015, Širović *et al.* 2015). Nous avons utilisé le niveau source de l'appel du rorqual commun de 189 dB avec 1µPa à 1m (Wierathmueller *et al.* 2013) et une durée de 0,8 s (Watkins *et al.* 1987) La profondeur de l'hydrophone propre à chaque emplacement a été utilisée comme étant la profondeur source pour chaque site. La perte de transmission du signal en dB a ensuite été calculée pour chaque créneau de portée de 100 m et à une profondeur binaire de 10 m le long de chacun des 32 radiaux jusqu'à une distance maximale de 150 km. Les données de sortie ont ensuite été enregistrées dans des fichiers.csv distincts pour chacun des radiaux.

En présumant que la profondeur du chant du rorqual commun est de 20 m (Stimpert *et al.* 2015), nous avons ensuite calculé chaque facteur de correction propre à l'emplacement, conformément à la démarche adoptée par Širović et ses collaborateurs (2015) qui tient compte de la perte de transmission et de la zone de détection, comme suit :

$$ATL = \sum_{j=1}^{32} \sum_{i=1}^{N} \frac{A_{ij}}{TL_{ij}} \quad (1)$$

où N est le nombre total de créneaux de portée de 100 m à une profondeur de 20 m pour lesquels la perte de transmission a été calculée pour chaque radial; Z_i représente la zone (calculée en milliers de km^2) entre chaque créneau de portée du radial; PT_i est la perte de transmission à chaque créneau de portée. La valeur résultante pour chaque créneau de portée a été ensuite additionnée pour chaque portion du radial affichant une perte de transmission qui ne dépasse pas la perte de transmission maximale admissible (PTMax, voir ci-après) propre au mois sur une longueur du radial allant jusqu'à 150 km. Ces valeurs additionnées ont ensuite été additionnées pour tous les radiaux. Ce processus a entraîné l'établissement d'un facteur de correction « zone-transmission-perte » (*ZTP*) unique pour chaque mois pour lequel on dispose de données et pour chaque site équipé d'un hydrophone.

Comme dans Širović et ses collaborateurs (2015), la PTMax mensuelle qu'un appel de rorqual commun est en mesure de soutenir avant qu'il ne devienne plus décelable par rapport au bruit ambiant par l'hydrophone a été calculée pour chaque mois et à chaque site, comme suit :

$$PTMax = NS - NM - D$$

où NS est le niveau source de l'appel (189 dB avec 1µPa à 1m, Wierathmueller *et al.* 2013), NM est le niveau mensuel de bruit ambiant dans F_{bruit} (tel que calculé ci-après) et D est la détectabilité du signal. Dans ce cas, comme l'indice des appels du rorqual commun mesure tous les changements qui surviennent dans le niveau du son, la détectabilité a été établie à 0 dB. Nous avons présumé qu'un appel d'un rorqual commun pouvait être détecté par l'hydrophone s'il avait été produit dans un créneau de portée avec une perte de transmission à

une profondeur de 20 m qui ne dépasse pas la valeur de PTMax du mois particulier pour le site équipé de l'hydrophone.

NM en dB avec 1 μPa^2 a été calculé pour chaque mois et à chaque site en utilisant les données dérivées du traitement numérique du signal propre au site (1 Hz binaire) pour toutes les données disponibles pour chaque mois à ce site. Les niveaux de bruit ont été calculés en intégrant la densité spectrale (en unités de dB avec $1\mu Pa^2/Hz$) sur les bandes de 13, 14, 37 et 38 Hz afin d'exclure l'énergie à laquelle les chants du rorqual commun ont contribué et pour demeurer cohérents avec la valeur de F_{bruit}. On a ensuite calculé la moyenne de ces niveaux pour chaque mois respectif à chaque site. Les niveaux de bruit dans cette bande se situaient bien au dessus des planchers de bruit consignés et captés par les dispositifs d'enregistrement utilisés dans le cadre de notre étude.

Pour visualiser spatialement chaque zone de détection associée à un hydrophone pour un mois servant d'exemple, nous avons élaboré des cartes de chaleur de la perte de transmission mise à l'échelle de PTMax propres au site et au mois pour chaque emplacement et pour le mois d'octobre en interpolant les valeurs de la perte de transmission modélisées pour chaque radial sur une matrice en utilisant des routines en vigueur dans R (équipe de base R 2013); les écarts entre des radiaux adjacents ont été comblés en utilisant la médiane des mesures de la perte de transmission aux environs (figure 7).

Notre objectif, en mettant l'accent sur la modélisation de la perte de transmission pour les appels du rorqual commun n'était pas d'établir la plage de détection absolue pour cette espèce à chaque site, mais plutôt de décrire le profil de la perte de transmission des appels du rorqual commun dans une zone prédéterminée autour de chaque site de sorte que l'on puisse comparer les résultats entre les emplacements. L'essentiel, si l'on veut être en mesure de comparer les résultats entre les sites, est d'utiliser des méthodes uniformes à tous les sites et de choisir une longueur de radial qui tienne compte de la plus grande partie de la perte de transmission du signal. Le choix que nous avons fait d'utiliser une longueur du radial de 150 km est cohérent avec d'autres études publiées qui ont tenté de modéliser les plages de détection des appels du rorqual commun (p. ex., Payne et Webb 1971; Moore *et al.* 1999; Watkins *et al.* 2000; Stafford *et al.* 2007; Širović *et al.* 2015; Koot 2015); cependant, cette distance n'englobe vraisemblablement pas l'ensemble de la plage de la variabilité réelle.

2.4 COMPARAISON DES DIELS

Pour visualiser F_{commun} et F_{bruit} en fonction du moment de la journée, nous avons représenté graphiquement les puissances de F_{commun} et de F_{bruit} résumées en tranches d'une demi-heure pour chaque journée entre le mois d'octobre et la fin du mois de janvier, comme dans Simon et ses collaborateurs (2010). Pour établir s'il y avait une différence significative entre la puissance des appels de jour et de nuit, nous avons sélectionné des données issues du traitement numérique du signal à partir de deux périodes dans le sud-ouest du détroit d'Hécate, sur les dômes Dellwood et sur la péninsule Brooks (les zones qui présentent les plus hauts niveaux d'appels). La première période était une période de deux mois qui se chevauchait avec la période du pic des appels à chaque emplacement et pour toutes les années disponibles (sud-ouest du détroit d'Hécate = du 1er novembre au 31 décembre; dômes Dellwood = du 1er octobre au 30 novembre; péninsule Brooks = du 1er octobre au 31 novembre). Nous avons aussi choisi une période précédant le pic des appels à chaque station à des fins de comparaison (sud-ouest du détroit d'Hécate = du 1er septembre au 31 octobre; dômes Dellwood = du 1er août au 30 septembre; péninsule Brooks = du 1er août au 3o septembre 2013).

Pour chaque emplacement, les données issues du traitement numérique du signal durant des moyennes de 5 secondes ont été divisées en périodes de nuit et en périodes de jour d'après les

emplacements et les moments du lever et du coucher du soleil à certaines dates tirés du site Web de l'observatoire naval des États-Unis. Les données sur la période de nuit ont été définies comme étant toutes les données recueillies entre le coucher et le lever du soleil, et les données sur la période de jour ont été définies comme étant toutes les données recueillies entre le lever et le coucher du soleil. Nous avons calculé la puissance moyenne de F_{commun} et la moyenne de la puissance additionnée de F_{bruit} pour chaque bloc continu de temps de nuit et de temps de jour. Pour tous les sites et toutes les périodes, au moins un ensemble de données contredisait les hypothèses de la normalité ou d'une variance égale (d'après le test de Shapiro-Wilk et l'essai de F), de sorte que nous avons mis à l'épreuve les différences dielles en utilisant le test non paramétrique U de Mann-Whitney.

3 RÉSULTATS

3.1 DONNÉES ET EFFORT

Dans l'ensemble, environ 30 320 heures d'enregistrements du facteur de charge ont été recueillies sur 4 605 jours de déploiement entre 2009 et 2015. La couverture entre les sites n'était pas uniforme sur l'ensemble de cette période, et aucun site n'a fait l'objet d'une surveillance sur la totalité de la période de sept ans. Les sites faisaient habituellement l'objet de la surveillance durant deux ans consécutifs, après quoi les dispositifs d'enregistrement étaient déplacés à d'autres emplacements (voir le tableau 1 pour davantage de détails).

Le processus de vérification manuelle s'est traduit par la suppression de 50,9 heures d'enregistrement entre tous les sites en raison d'anomalies dans le bruit qui influaient sur l'indice des appels. Dans la plupart des cas, le bruit était attribué à des bandes tonales intenses oscillant aux alentours de 20 Hz qui provenaient d'un bruit de tapotement, lequel est causé par des courants qui circulent en arrière de l'équipement de mouillage, entraînant des vibrations à de faibles fréquences. Les enregistrements réalisés à l'aide du SM2M dans l'est du détroit d'Hécate ont été entachés par le bruit de tapotement, parce que les dispositifs d'enregistrement étaient installés sur un grand mouillage d'instruments océanographiques, plusieurs autres organes tels que ceux-ci étant placés dans une zone de fort courant. Bien que la vérification manuelle ait confirmé que les appels des rorquals étaient prolifiques à ce site, les périodes de bruit de tapotement influaient sur l'indice des appels du rorqual commun et étaient si vastes qu'il était impossible de les supprimer, de sorte que nous avons décidé d'enlever l'ensemble de données.

3.2 ZONES DE PERTE DE TRANSMISSION

La modélisation de la perte de transmission a révélé que, dans des conditions de bruit moyen propre au site entourant un site équipé d'un hydrophone, la propagation était relativement mauvaise pour les sites se trouvant à la rupture de la pente continentale (p. ex., péninsule Brooks, île Triangle et île Anthony). La modélisation donne à penser que ces hydrophones ne pouvaient pas détecter (ou détectaient à de très faibles niveaux) les appels des rorquals communs émanant d'une zone se situant au-delà de la pente continentale. Cette idée souligne la nécessité future de placer les dispositifs d'enregistrement à des endroits plus appropriés pour la détection au-delà de la pente continentale. La propagation des sons était plus idéale à des sites se trouvant au large, ainsi qu'à des sites se trouvant sur de très vastes zones du plateau continental, particulièrement dans le détroit d'Hécate. Les zones de propagation aux sites se trouvant dans le détroit d'Hécate étaient partiellement limitées par des obstacles géographiques comme des masses terrestres (principalement la ligne de côte de la partie continentale et la ligne de côte de Haida Gwaï) et par la bathymétrie (p. ex., bancs comme le banc Dogfish). La zone de détection du détroit de Caamaño était entièrement isolée du détroit d'Hécate par des

masses terrestres situées aux environs. La figure 7 présente les zones de perte de transmission pour chaque site, montrant la zone de détection en tant que perte de transmission mise à l'échelle de la PTMax propre au site pour le mois servant d'exemple, à savoir le mois d'octobre.

3.3 ACTIVITÉ DU RORQUAL COMMUN

On a enregistré des chants de rorquals communs à tous les sites ayant été examinés, bien que les niveaux mesurés étaient variables entre les sites et au cours des mois. De même, pour certains mois et à quelques sites, les niveaux des appels étaient uniformément faibles par rapport à F_{bruit}, ce qui se traduisait occasionnellement par des moyennes mensuelles de l'indice des appels du rorqual commun qui étaient négatives. Ceci n'indique pas une absence d'appels durant ce mois, mais que de très faibles niveaux d'appels ont été observés et, en moyenne, que les niveaux de F_{commun} étaient plus faibles que les niveaux de F_{bruit}.

Après que l'on a appliqué les facteurs de correction propres au site, les appels les plus intenses et les plus soutenus étaient enregistrés à des stations se trouvant dans la zone du détroit d'Hécate et entourant la cuvette de Moresby, incluant les appels enregistrés par AURAL dans le sud-ouest du détroit d'Hécate et par SM2M dans le détroit de Caamaño (figure 4). De hauts niveaux de chants ont également été détectés à la péninsule Brooks et sur les dômes Dellwood (figure 5). Les chants étaient remarquablement intenses et soutenus à la station du sud-ouest du détroit d'Hécate. Par rapport à sa zone de perte de transmission, l'indice des appels pour les mois d'octobre et de novembre au détroit de Caamaño était le plus élevé parmi tous les sites ayant été examinés. Cependant, il est important de noter que la zone de détection dans le détroit de Caamaño était extrêmement réduite par rapport à d'autres sites utilisés dans le cadre de cette étude, et que l'application du facteur de correction s'est traduite par le rajustement le plus important de l'indice des appels du rorqual commun par rapport à d'autres sites. Bien que les analyses effectuées pour le détroit de Caamaño reposaient sur un ensemble de données relativement restreint (quatre mois), les observations visuelles effectuées depuis 2006 (Nichol *et al.* 2017) ont montré que les rorquals communs étaient présents de façon constante dans cette petite zone côtière chaque saison, et que les niveaux de chants enregistrés étaient vraisemblablement représentatifs.

À un moment donné, les appels types détectés par les dispositifs d'enregistrements placés dans le détroit d'Hécate consistaient en des vocalisations entre plusieurs baleines communiquant les unes avec les autres, notamment au début de l'hiver. Par contraste, la valeur de F_{commun} enregistrée à l'extérieur du détroit d'Hécate était habituellement composée d'une bande d'appels continus à peine détectables découlant d'une activité uniforme à peine détectable de production de chants, laquelle se chevauchait à l'occasion avec des chants reconnaissables émanant d'un ou de plusieurs individus se trouvant à proximité.

Du point de vue saisonnier, les valeurs les plus élevées de l'indice des appels étaient observées entre les mois de septembre et de mars. Le pic des intensités des chants dans le détroit d'Hécate était enregistré entre novembre et janvier, dans le détroit de Caamaño en octobre et novembre, autour du mont sous-marin Bowie entre octobre et décembre, autour des dômes Dellwood en octobre et novembre, autour de l'île Triangle en novembre et décembre et autour de la péninsule Brooks en octobre et novembre (figure 3). Un plateau secondaire moins intense était aussi observé au site de la péninsule Brooks aux alentours du mois de février. Fait notable, le pic de l'intensité des appels aux stations situées à l'extérieur du détroit d'Hécate, y compris dans le détroit de Caamaño, étaient enregistrés un à deux mois plus tôt que le pic aux stations du sud-ouest du détroit d'Hécate. En outre, les niveaux d'appels à la station du détroit de Caamaño ont chuté de façon marquée après le mois de novembre.

3.4 COMPARAISON DES DIELS

Aucune différence statistique significative dans la puissance des appels entre le jour et la nuit n'a été observée au sud-ouest du détroit d'Hécate (du 1er septembre au 31 octobre : p = 0, 1029; du 1er novembre au 31 décembre : p = 0,4441) ou sur les dômes Dellwood (du 31 août au 30 septembre : p = 0,3884; du 1er octobre au 30 novembre : p = 1) pour chacune des périodes mises à l'essai. La puissance des appels de nuit à la péninsule Brooks était statistiquement plus vigoureuse (p = 0,047), bien que de façon minime, que les niveaux d'appels enregistrés durant la journée pour la période s'échelonnant entre le 1er août et le 30 septembre, et la différence pour la période s'échelonnant entre le 1er octobre et le 30 novembre p = 0,2872) était non significative. Même si aucune différence statistiquement significative n'a été trouvée dans les niveaux enregistrés aux dômes Dellwood, les graphiques qui représentent l'énergie dielle montraient que les niveaux de F_{commun} étaient légèrement supérieurs la nuit que le jour avant le mois de novembre (figure 9). Les visualisations montraient qu'il n'y avait pas de différences observables de la puissance de F_{commun} pour toutes les périodes et au site d'enregistrement du sud-ouest du détroit d'Hécate (figure 15).

Si l'énergie se trouvant dans la bande de F_{bruit} avait une incidence sur ces résultats, on devrait s'attendre à observer des profils semblables dans les résultats de F_{bruit}, mais cela n'a pas été le cas. Les niveaux de F_{bruit} durant la nuit aux dômes Dellwood (du 1er octobre au 30 novembre) étaient significativement plus élevés (p < 2e-7). On a également observé ce phénomène au sud-ouest du détroit d'Hécate pour la période allant du 1er novembre au 31 décembre, lequel était vraisemblablement causé par le bruit d'écoulement des courants de marée, comme l'indiquent les bandes diagonales d'énergie intense affichant un profil semi-diurne de F_{bruit} à la figure 10.

4 DISCUSSION

La présente étude est la plus vaste étude acoustique à avoir été entreprise pour examiner les tendances dans l'occurrence et la saisonnalité des appels du rorqual commun en Colombie-Britannique jusqu'à présent. Nos résultats éclairent de façon intéressante la variation géographique dans les intensités des chants, ainsi que la saisonnalité du comportement sonore sur une vaste échelle spatiale, ce qui, nous l'espérons, se révèlera utile pour d'autres études évaluant la structure de la population, la reproduction, les déplacements saisonniers et l'utilisation de l'habitat du rorqual commun dans le Pacifique canadien.

4.1 EMPLACEMENTS DES BALEINES ÉMETTANT DES APPELS

Les grandes distances sur lesquelles les vocalisations des rorquals communs peuvent se propager (Payne et Webb 1971; Širović *et al.* 2007; Simon *et al.* 2010) créent des incertitudes lorsque vient le temps d'interpréter d'où proviennent les appels reçus. Nos zones de détection modélisées pour plusieurs sites se chevauchent les unes les autres (figures 6 et 7), ce qui nous permet de poser des hypothèses générales quant aux emplacements des baleines émettant des appels en vertu des hypothèses et de l'incertitude entourant les prévisions de la perte de transmission (voir la section 4.4 ci-dessous). Premièrement, la zone de perte de transmission pour les dômes Dellwood se chevauchait avec la zone équipée d'un dispositif d'enregistrement du sud-ouest du détroit d'Hécate. Après avoir appliqué un facteur de correction pour la zone de perte de transmission, on a trouvé que les indices des appels étaient plus faibles sur les dômes Dellwood qu'au sud-ouest du détroit d'Hécate, ce qui nous a amenés à conclure que les rorquals communs détectés grâce au dispositif du détroit d'Hécate se trouvaient vraisemblablement plus près de la région du sud-ouest du détroit d'Hécate que de celle des dômes Dellwood. Dans la même veine, la zone de perte de transmission pour l'île Triangle

s'étendait dans le détroit d'Hécate et se chevauchait avec la zone de détection du dispositif d'enregistrement du sud-ouest du détroit d'Hécate, mais de très faibles niveaux d'appels ont été détectés grâce aux données recueillies près de l'île Triangle. Cela, à nouveau, donne à penser que les emplacements des baleines émettant des appels enregistrés grâce au dispositif déployé dans le détroit d'Hécate se trouvaient à proximité du sud du détroit d'Hécate. Le chevauchement des zones de perte de transmission des dômes Dellwood et du sud-ouest du détroit d'Hécate donne aussi à penser qu'une partie de la bande continue à peine détectable qui caractérise F_{commun} aux dômes Dellwood pendant la plus grande partie de la saison des appels pourrait avoir été partiellement formée par de nombreux appels à peine détectables provenant du détroit d'Hécate, mais nous n'avons pas été en mesure de confirmer ce phénomène. Sur la côte ouest de l'île de Vancouver, les zones de perte de transmission de l'île Triangle et de la péninsule Brooks se chevauchaient, mais la péninsule Brooks affichait des valeurs de l'indice des appels beaucoup plus élevées, ce qui donne à penser que les baleines se trouvaient vraisemblablement dans une partie de la plage de détection de la péninsule Brooks affichant une bonne détectabilité.

Le positionnement du dispositif d'enregistrement du détroit de Caamaño formait un écran par rapport au détroit d'Hécate et limitait la zone de détection à la seule zone formée par les eaux intérieures du détroit, ce qui nous a permis d'attribuer une certaine activité des appels enregistrés avec certitude à cette zone. Le niveau des chants enregistrés au détroit de Caamaño était assez significatif pour une zone affichant une superficie relativement faible comme celle-ci dans des eaux intérieures.

4.2 TENDANCES SAISONNIÈRES ET GÉOGRAPHIQUES DES CHANTS DES RORQUALS COMMUNS EN COLOMBIE-BRITANNIQUE

La surveillance acoustique passive permet d'inférer la présence d'une espèce à partir de la présence de ses vocalisations, mais on ne peut tirer de conclusions à propos de l'absence des individus si n'y a pas d'appels ou si seul un faible nombre d'appels est présent. Cela rend difficile la tâche de déterminer, grâce à la surveillance acoustique passive uniquement, si les tendances saisonnières affichées par les appels du rorqual commun sont causées par un changement dans la présence des animaux ou par des changements dans le comportement sonore qui surviennent tout au long de l'année (p. ex., les chants).

À la plupart des sites, la prévalence des chants augmentait de façon très marquée entre la fin de l'été et le début de l'hiver. Le chant du rorqual commun est un comportement saisonnier, et l'augmentation de l'indice des appels sur cette période (ainsi que la diminution subséquente après le début de l'hiver) n'indique pas nécessairement l'augmentation ou la diminution du nombre d'animaux dans une région. Par exemple, de très vastes rassemblements de rorquals communs ont été observés durant des relevés par navire scientifique effectués dans la plage de détection du dispositif d'enregistrement du sud-ouest du détroit d'Hécate en août 2013, mais l'indice des appels du rorqual commun durant cette période et enregistré par le dispositif était faible par rapport aux niveaux mesurés au milieu de l'hiver. Cela donne à penser qu'au moins une partie de la hausse de l'indice des appels du rorqual commun à l'automne et à l'hiver est causée par un changement dans le comportement sonore.

De la même manière, d'autres changements dans le comportement sonore affectent également l'interprétation de la saisonnalité. Par exemple, un changement durant la saison de la longueur de l'intervalle entre les impulsions (ou intervalle entre les notes – le temps écoulé entre des impulsions successives) dans les chants peuvent avoir une incidence sur l'indice des appels (Nieukirk *et al.* 2012). Oleson et ses collaborateurs (2014) ont établi que l'intervalle entre les impulsions caractérisant le chant du rorqual commun dans le Pacifique Nord augmentait à mesure que se déroulait la saison des chants. Ceci pourrait causer une diminution de l'indice

des appels (parce qu'il y aurait moins d'appels par unité de temps) (Širović *et al.* 2015). Comme pour les résultats obtenus par Oleson et ses collaborateurs (2014) pour le Pacifique Nord, Koot (2015) a trouvé que l'intervalle entre les notes du chant du rorqual commun en Colombie-Britannique se prolongeait tout au long de la saison du chant jusqu'à ce que l'intervalle le plus long coïncide avec le pic des intensités des appels mesurés dans notre étude entre les mois de novembre et de février pour le détroit d'Hécate. Le fait que, dans notre étude, les niveaux des indices des appels pour le détroit d'Hécate étaient les plus intenses enregistrés durant la période affichant l'intervalle entre les notes le plus long est très probablement dû à une augmentation du nombre réel d'appels, ce qui signifie une augmentation du nombre d'animaux émettant des chants, une augmentation dans la quantité de chants émis par des baleines individuelles, un déplacement dans la zone d'un nombre supérieur de baleines émettant des chants ou une combinaison de ces facteurs.

Il est possible qu'une partie de l'augmentation saisonnière des niveaux de chant dans le détroit d'Hécate au milieu de l'hiver reflète une augmentation dans le nombre d'animaux fréquentant cette zone. Par exemple, les pics saisonniers des indices des appels des rorquals communs à tous les autres emplacements se trouvant à l'extérieur du détroit d'Hécate se produisaient un ou deux mois avant les pics des intensités des chants dans le détroit d'Hécate. Ce décalage donne à penser qu'un déplacement d'animaux à partir d'autres sites côtiers dans la région du détroit d'Hécate pourrait se produire à partir du mois d'octobre et jusqu'au mois de janvier. Il se peut aussi que des baleines se trouvant déjà dans le détroit d'Hécate pourraient tout simplement se déplacer plus près du dispositif d'enregistrement déployé dans le sud-ouest du détroit d'Hécate plus tard durant la saison des chants, causant ainsi une hausse de l'indice des appels. Cependant, cela n'explique pas la diminution synchrone de l'indice des appels aux sites se trouvant à l'extérieur du détroit d'Hécate – des déplacements d'animaux dans le détroit d'Hécate constituent l'explication la plus probable de ce phénomène. D'un autre côté, comme il a été mentionné plus haut, la chute de l'indice des appels après le mois d'octobre à des sites se trouvant à l'extérieur du détroit d'Hécate pourrait être un artéfact de l'augmentation de l'intervalle entre les notes des chants tout au long de la saison des chants. Cependant, de l'information supplémentaire provenant d'une analyse distincte de la présence des chants dans la péninsule Brooks (Koot 2015) indique que la chute de l'indice des appels après le mois d'octobre à cet emplacement de notre étude est plus vraisemblablement causée par une diminution continue du nombre de jours durant lesquels on a enregistré des chants après le mois d'octobre, et non un artéfact de l'intervalle entre les notes, ce qui soutient encore davantage l'idée d'un déplacement à l'écart de ces sites. Il faudra mener davantage d'études et déployer des efforts supplémentaires pour clarifier si les déplacements à partir de ces sites sont dirigés vers la région du détroit d'Hécate, comme le décalage dans les pics des appels le donne à penser, ou si les animaux se déplacent vers d'autres zones.

Les intensités élevées des chants enregistrés dans le détroit d'Hécate entre novembre et janvier se chevauchent avec la période estimée de conception et de mise bas pour le rorqual commun du Pacifique Nord (Lockyer 1984). Oshumi et ses collaborateurs (1958) et Lockyer (1984, citant Fujino1954) font remarquer que le mois où l'on enregistre le pic des conceptions serait le mois de décembre, et les mois où l'on enregistre le pic des mises bas seraient novembre et décembre. En outre, Pike (1956, données non publiées)[1] estime que 75 % des naissances chez le rorqual commun fréquentant les eaux de la Colombie-Britannique se produisent entre la mi-octobre et la mi-février. Bien que nous ne puissions tirer aucune conclusion sur les mises bas à partir des données acoustiques, ces éclairages, combinés avec

[1] Pike, G. C. 1956. Age, growth and maturity studies on fin whales from the coast of British Columbia. Office des recherches sur les pêcheries du Canada, manuscrit non publié.

les hauts niveaux de chant et le décalage du pic observé partout ailleurs dans la région visée par l'étude donnent à penser que les activités associées à la reproduction (la parade et l'accouplement) ont vraisemblablement lieu dans le détroit d'Hécate durant la période s'échelonnant entre octobre et février.

Après le mois de janvier, dans le détroit d'Hécate, les niveaux des chants déclinent, mais on ne sait pas si ce phénomène est dû à des changements dans le comportement sonore aux stades plus tardifs de la saison de reproduction (un plus faible nombre d'animaux produisant des chants), d'une nouvelle répartition localisée des baleines dans la région ou d'une migration de baleines à l'extérieur de la région. Ce déclin est beaucoup plus prononcé que ce à quoi on devrait s'attendre s'il était dû uniquement à un changement dans le comportement sonore après la saison de reproduction, ce qui pourrait indiquer un déplacement des animaux à l'extérieur de la zone de détection du sud-ouest du détroit d'Hécate commençant à la fin du mois de janvier ou au début du mois de février.

Dans la présente section, le raisonnement met en lumière le fait que la région du détroit d'Hécate est unique parmi les zones faisant l'objet de notre étude, en ce qu'elle affiche les niveaux les plus élevés de chants (corrigés pour tenir compte de l'effort d'enregistrement) qui persistent plus tard durant l'hiver, et implique aussi que la région pourrait revêtir une importance centrale pour le rorqual commun durant la période de reproduction dans les eaux de la Colombie-Britannique se trouvant près des rivages. D'autres idées dérivées de la génétique, de l'identification photographique, des analyses acoustiques réalisées ailleurs en Colombie-Britannique, d'études de marquage et d'efforts accrus consentis sur le terrain en hiver aideront à clarifier la structure et les déplacements de la population de rorquals communs en Colombie-Britannique et, possiblement, d'établir d'autres régions d'importance.

4.3 PROFILS DES APPELS DIELS

On pense que les profils d'alimentation pourraient influer sur les profils quotidiens des chants du rorqual commun. En Colombie-Britannique, les rorquals communs se nourrissent en grande partie de zooplancton (Flinn *et al.* 2002; Programme de recherche sur les cétacés du MPO, données inédites), lequel est connu pour entreprendre des migrations verticales dielles vers la surface la nuit et dans les profondeurs durant la journée (Hays 2003). Le rorqual commun s'alimente plus probablement durant le jour, lorsque les proies sont concentrées en profondeur (Nichol *et al.* 2017), tandis que les chants et d'autres comportements pourraient être plus prévalents durant la nuit, lorsque le zooplancton devient plus diffus dans les eaux de la surface, rendant l'alimentation inefficace (Stafford *et al.* 2005; Wiggins *et al.* 2005).

Nos résultats ont montré qu'il n'y avait pas de différence statistiquement significative ou observable entre l'intensité des chants la nuit, par comparaison avec les chants enregistrés durant le jour dans le sud-ouest du détroit d'Hécate (figure 15). Aux dômes Dellwood et sur la péninsule Brooks, il semblait y avoir une différence très légère observable entre la nuit et le jour, de façon la plus évidente au mois d'octobre, avec une énergie légèrement plus importante durant la nuit que durant le jour (figures 13 et 14). Les légères différences dielles observées dans les visualisations n'étaient pas significatives aux dômes Dellwood; toutefois, la différence était significative à la péninsule Brooks avant le mois d'octobre.

Le manque apparent de tendance dielle dans le comportement sonore dans le détroit d'Hécate pourrait être dû à un ou plusieurs facteurs possibles. La première possibilité serait que l'alimentation du rorqual commun dans le détroit d'Hécate pourrait ne pas être inhibée par la migration verticale dielle du zooplancton, ce qui donne à penser que d'autres éléments déclencheurs comme la remontée des eaux de marée, les fronts de marée ou des caractéristiques bathymétriques complexes pourraient permettre un apport de nourriture

constant disponible tous les jours, ce qui se traduit en fin de compte par un comportement sonore réparti de façon égale. La deuxième possibilité serait que le détroit d'Hécate pourrait ne pas être utilisé pour l'alimentation par le rorqual commun, mais seulement pour d'autres comportements comme ceux afférents à la reproduction. Cependant, nous disposons de nombreuses observations de rorquals communs en recherche de nourriture dans le détroit d'Hécate en octobre et en mars, selon des relevés par navire scientifique, ainsi qu'à partir d'une modélisation de l'état et de l'espace reposant sur des étiquettes pour l'enregistrement chronologique des données indiquant la présence d'une recherche de nourriture limitée par la zone dans le secteur (inférant un comportement alimentaire) (Nichol *et al.* 2017). La troisième possibilité serait que seuls quelques rorquals communs fréquentant le détroit d'Hécate pourraient chanter selon un cycle diel, bien qu'un nombre insuffisant de baleines pour causer un changement détectable dans l'intensité globale des appels qui pourraient être détectables grâce aux méthodes que nous avons employées soit présent. De façon corrélative, même si Simon et ses collaborateurs (2010) ont trouvé l'existence d'une tendance dielle très importante dans le comportement sonore du rorqual commun dans le détroit de Davis (baie de Baffin), ces auteurs font remarquer que les chants ne cessaient pas complètement durant le jour, mais diminuaient seulement.

Un examen des paramètres océanographiques de la zone, ainsi que des études plus poussées sur le comportement de plongée du rorqual commun au sein des régions et entre celles-ci en utilisant des étiquettes pour l'enregistrement chronologique des données nous aideraient à nous forger de meilleures idées à propos des possibilités énumérées ci-dessus.

4.4 LIMITES DES HYPOTHÈSES

Nous avons formulé un certain nombre d'hypothèses lorsque nous avons modélisé la perte de transmission propre au site. Premièrement, nous avons utilisé les niveaux de bruit ambiant mensuels moyens propres aux sites (à l'intérieur de F_{bruit}), ce qui signifie que des changements à court terme dans le bruit (c.-à-d. navires transiteurs, systèmes météorologiques) qui seraient susceptibles de réduire la détectabilité des appels du rorqual commun pourraient ne pas être pris en considération. En outre, les modèles de la propagation reposaient sur des données environnementales propres aux sites disponibles par l'entremise du logiciel ESME, lesquelles données provenaient d'une source de bonne réputation, mais étaient trop brutes sur les plans temporel et spatial pour rendre compte des conditions changeantes entre les années visées par l'étude. Nous avons établi que des différences dans les données environnementales mensuelles pour les dômes Dellwood avaient un effet négligeable sur la perte de transmission, de sorte que nous avons choisi de n'utiliser que les données environnementales recueillies pour le mois d'octobre à chaque site, le mois d'octobre étant celui durant lequel la perte de transmission variait le moins par rapport à tous les autres mois durant l'essai de Dellwood. À l'avenir, l'utilisation de deux périodes représentatives pour lesquelles on dispose de données environnementales (c.-à-d. l'hiver et l'été) à chaque site pourrait permettre de rendre compte d'une variabilité saisonnière accrue.

Nous avons posé l'hypothèse d'un niveau source constant de 189 dB avec 1µPa à 1m pour les appels du rorqual commun, car il s'agit du niveau source moyen le plus récemment publié pour une taille d'échantillon importante des vocalisations de 20 Hz émises au large de la Colombie-Britannique (Wierathmueller *et al.* 2013). Bien que l'utilisation du niveau source moyen ne permette pas de prendre en considération la plage complète de la variabilité qui pourrait être observée, elle devrait se traduire par une propagation qui est acceptable pour la plupart des circonstances entourant les appels.

Nous avons également posé comme hypothèse que les appels se produisaient à une profondeur de 20 m, d'après une étude par marquage récente menée par Stimpert et ses

collaborateurs (2015) au large de la Californie. Des étiquettes acoustiques à capteurs multiples affichant un taux élevé d'accélérométrie et déployées sur des rorquals communs nous ont permis d'identifier les appels émis par des baleines marquées et d'associer ceux-ci directement aux mesures de la profondeur effectuées grâce aux étiquettes. L'équipe a trouvé que les chants des rorquals communs produisaient presque exclusivement des vocalisations dans une plage de 10 à 20 m de profondeur. La cellule de distance de la profondeur la plus étroite dans nos données de sortie concernant la perte de propagation était de 20 m, de sorte que nous avons utilisé cette dernière.

En outre, durant notre étude, nous avons comparé les résultats corrigés parmi tous les sites, quelles que soient les limites des zones de détection globales (p. ex., détroit de Caamaño versus dômes Dellwood). Il pourrait être pertinent de ne comparer que des sites se trouvant dans des environnements semblables (p. ex., sites se trouvant au large du plateau continental ou sites côtiers).

En utilisant l'information disponible la plus actuelle sur la production des appels par les rorquals communs, en validant l'hypothèse selon laquelle les différences entre les modèles de propagation mensuels sont négligeables et en utilisant des niveaux de bruit ambiant moyens propres aux sites pour chaque mois disponible, notre analyse a tenté de rendre compte d'une variabilité suffisante pour que l'on puisse comparer les résultats entre les emplacements à nos propres fins. La figure A1 présentée en annexe montre l'indice des appels du rorqual commun moyens quotidiens non corrigé aux fins de comparaison avec les résultats finaux corrigés. Des études futures reposant sur des capacités de calcul plus puissantes pourraient bénéficier d'une résolution temporelle et spatiale plus précise du bruit ambiant et des variables environnementales. Un effort futur visant mettre les données environnementales propres aux sites dans le contexte des réalités de terrain, comme les profils de la vitesse du son, serait également bénéfique.

5 CONCLUSIONS

Parmi les zones ayant fait l'objet d'un examen dans le cadre de cette étude, les pics des intensités des chants étaient enregistrés dans la région du détroit d'Hécate (incluant le détroit de Caamaño). Dans la région du détroit d'Hécate (notablement dans la zone équipée d'un dispositif d'enregistrement du sud-ouest du détroit d'Hécate), le pic des intensités des chants survenaient de un à deux mois plus tard qu'aux autres sites ayant fait l'objet d'un examen dans le cadre de cette étude, et étaient soutenus durant la plus longue durée vers l'hiver. Ces observations donnent à penser que les déplacements de certains rorquals communs à partir d'autres emplacements côtiers dans notre zone d'étude vers le détroit d'Hécate pourraient avoir lieu au milieu de l'hiver. Cependant, nous avons besoin d'accumuler davantage d'éléments probants concernant de tels déplacements. La période durant laquelle on enregistre le pic des intensités du chant dans le détroit d'Hécate est harmonisée avec l'information disponible sur les paramètres temporels du cycle de reproduction du rorqual commun en Colombie-Britannique, ce qui indique que les activités associées à la reproduction, comme la parade et l'accouplement, se produisent vraisemblablement dans le détroit d'Hécate. Les efforts de relevé par navire scientifique dédiés dans le détroit d'Hécate en hiver ont été minimes, ce qui met en lumière la nécessité d'améliorer l'effort visuel pour valider ces résultats.

De hauts niveaux saisonniers de chants ont également été observés à deux autres emplacements se trouvant à l'extérieur de la région du détroit d'Hécate, à savoir la péninsule Brooks et les dômes Dellwood. Nous devons combler les lacunes géographiques dans la couverture de la surveillance acoustique si nous voulons relever d'autres zones d'importance

pour le rorqual commun, et ce, de façon plus notable dans le nord de la Colombie-Britannique, dans les eaux de mer ouverte et sur la côte ouest de l'île de Vancouver.

6 REMERCIEMENTS

Nous exprimons notre gratitude à Tamás Juhász, Lucius Perreault, David Spear et les officiers et l'équipage du NGCC *John P. Tully* pour le travail important qu'ils ont abattu et pour leur expertise dans la construction et le déploiement des mouillages des dispositifs acoustiques qui nous ont permis de recueillir des données dans le cadre de notre étude. Nous remercions également Ana Širović, que nous avons consultée à propos de questions d'ordre méthodologique. Barbara Koot a fourni une mine de renseignements sur le sujet de l'acoustique des rorquals communs en Colombie-Britannique dans sa thèse, ainsi que durant les discussions et par les commentaires qu'elle a formulés sur l'ébauche du présent document. Svein Vagle nous a fourni les enregistrements pour l'est du détroit d'Hécate, et nous lui en sommes très reconnaissants. Jared Towers et Brian Falconer nous ont aidés en déployant un dispositif d'enregistrement dans le détroit de Caamaño, et Graeme Ellis a contribué à la récupération de celui-ci. Graham Voysey nous a offert une aide technique à propos du logiciel ESME. Enfin, nous reconnaissons l'aide de Linda Nichol, Brianna Wright, Lisa Spaven et Harald Yurk pour les idées qu'ils ont émises et pour leur participation aux discussions qui ont été tenues tout au long des différentes étapes de cette étude.

7 RÉFÉRENCES

Collins, M.D. 1993. A split-step Padé solution for the parabolic equation method. J. Acoust. Soc. Am. 93 (4): 1736-1742.

COSEPAC. 2005. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le rorqual commun *Balaenoptera physalus* au Canada – Mise à jour. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. vii +43 p.

Croll, D.A, Clark, C.W., Acevedo, A., Tershy, B., Flores, S., Gedamke, J., Urban, J. 2002. Only male fin whales sing loud songs. Nature. 417, p. 809.

Curtis, K.R., Howe, B.M., Mercer, J.A. 1999. Low-frequency ambient sound in the North Pacific: Long time series observations. J. Acoust. Soc. Am. 106 (6): 3189-3200.

Farcas, A., Thompson, P.M., Merchant, N.D. 2015. Underwater noise modeling for environmental impact assessment. Environ. Impact Assess. Rev. 57: 114-122.

Flinn, R.D., Trites, A.W., Gregr, E.J., Perry, R.I. 2002. Diets of fin, sei, and sperm whales in British Columbia: an analysis of commercial whaling records, 1963-1967. Mar. Mammal Sci. 18(3): 663-679.

Ford, J.K.B., Koot, B., Vagle, S., Hall-Patch, N., Kamitakahara, G. 2010. Passive acoustic monitoring of large whales in offshore waters of British Columbia. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2898: v + 30 p.

Fujino, K.1954. On the Proportions of fin whales (*Balaenoptera physalus* (L)) caught in the northern Pacific Ocean (I). (Preliminary Report). Sci. Rep. Whales Res. Inst., Tokyo. 9: 121-63.

Gregr, E.J., Calambokidis, J., Convey, L., Ford, J.K.B, Perry, R.I., Spaven, L., Zacharias, M. 2006. Programme de rétablissement pour le rorqual bleu, le rorqual commun et le rorqual boréal (*Balaenoptera musculus*, *B. physalus*, et *B. borealis*) dans les eaux canadiennes du Pacifique. Série de Programmes de rétablissement de la *Loi sur les espèces en péril*. Vancouver : Pêches et Océans Canada. vii + 63 p.

Hays, G.C. 2003. A review of the adaptive significance and ecosystem consequences of zooplankton diel vertical migrations. Hydrobiologia. 503: 163-170.

Helble, T.A., D'Spain, G.L., Campbell, G.S., Hildebrand, J.A. 2013a. Calibrating passive acoustic monitoring: correcting humpback whale call detections for site-specific and time-dependent environmental characteristics. J. Acoust. Soc. Am. 134(5).

Helble, T.A., D'Spain, G.L., Hildebrand, J.A., Campbell, G.S. 2013b. Site specific probability of passive acoustic detection of humpback whale calls from single fixed hydrophones. J. Acoust. Soc. Am. 134(3): 2556-2570.

Koot, B. 2015. Winter behaviour and population structure of Fin whales (*Balaenoptera physalus*) in British Columbia Inferred from passive acoustic data. University of British Columbia. Master's Thesis. 120 p.

Lockyer, C. 1984. Review of baleen whale (Mysticeti) reproduction and implications for management. Rep. Int. Whal. Commn. Special Issue 6. p. 27-50.

Merchant, N.D., Fristrup K.M., Johnson, M.P., Tyack, P.L., Witt, M.J., Blondel, P., Parks, S.E. 2015. Measuring Acoustic Habitats. Methods Ecol. Evol. 6 (3): 257-265.

Moore, S.E., Dahlheim, M.E, Stafford, K.M., Fox, C.G., Braham, H.W., McDonald, M.A., and Thomason, J. 1999. Acoustic and visual detection of large whales in the Eastern North Pacific ocean. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-107. 27 p.

Nieukirk, S.L., Mellinger, D.K., Moore, S.E., Klinck, K., Dziak, R.P., Goslin, J. 2012. Sounds from airguns and fin whales recorded in the mid-Atlantic Ocean, 1999-2009. J. Acoust. Soc. Am. 131(2): 1102-1112.

Nichol, L.M., Abernethy, R.M., Wright, B.M., Heaslip, S., Spaven, L.D., Towers, J.R., Pilkington, J.F., Stredulinsky, E.H., Ford, J.K.B. 2017. Distribution, movements and habitat fidelity patterns of Fin Whales (*Balaenoptera physalus*) in Canadian Pacific Waters. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/004. vii + 50 p. Sous presse.

Ohsumi, S., Nishiwaki, M., Hibiya, T. 1958. Growth of fin whale in the northern Pacific. Sci. Rep. of Whale Res. Inst. Tokyo. 13: 97-133.

Oleson, E.M., Širović, A., Bayless, A.R., Hildebrand, J.A. 2014. Synchronous seasonal change in Fin whale song in the North Pacific. PLOS ONE. 9(12), 18 p.

Payne, R.S., McVay, S. 1971. Songs of Humpback Whales: Humpbacks emit sounds in long, predictable patterns ranging over frequencies audible to humans. Science. 173(3997): 585-597.

Payne, R., Webb, D. 1971. Orientation by Means of Long Range Acoustic Signaling in Baleen Whales. Ann. N. Y. Acad. Sci. Contribution no. 2317.

R Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. (Consulté le 1er mai 2018).

Schnute, J.T., Boers, N.M., Haigh, R., Couture-Beil, A. 2013. PBSmapping 2.66: user's guide revised from Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2549: vi + 115p. Last updated May 3, 2013.

Sciacca, V., Caruso, F., Beranzoli, L., Chierici, F., De Domenico, E., Embriaco, D., Favali, P., Giovanetti, G., Laros, G., Marinaro, G., Papale, E., Pavan, G., Pellegrino, C., Pulvirenti, S., Simeone, F., Viola, S., Riccobene, G. 2015. Annual acoustic presence of Fin whale (*Balaenoptera physalus*) offshore Eastern Siciliy, Central Mediterranean Sea. PLOS ONE. 10(11): e0141838.

Simon, M., Stafford, K.M., Beedholm, K., Lee, C.M., Madsen, P.T. 2010. Singing behaviour of fin whales in the Davis Strait with implications for mating, migration and foraging. J. Acoust. Soc. Am. 128 (5), p. 3200-3210.

Širović, A., Hildebrand, J.A., Wiggins, S.M., McDonald, M.A., Moore, S.E., Thiele, D. 2004. Seasonality of blue and fin whale calls and the influence of sea ice in the Western Antarctic Peninsula. Deep-Sea Res. II. 51, p. 2327-2344.

Širović, A., Hildebrand, J.A., Wiggins, S.M. 2007. Blue and fin whale call source levels and propagation range in the Southern Ocean. J. Acoust. Soc. Am. 122 (2): 1208-1215.

Širović, A., Hildebrand, J.A.,Wiggins, S.M. 2009. Blue and Fin whale acoustic presence around Antarctica during 2003 and 2004. Mar. Mammal Sci. 25(1), p. 125-136.

Širović, A., Williams, L.N., Kerosky, S.M., Wiggins, S.M., Hildebrand, J.A. 2013. Temporal separation of two fin whale call types across the Eastern North Pacific. Mar. Biol. 160, p. 47-57.

Širović, A., Rice, A., Chou, E., Hildebrand, J.A., Wiggins, S.M., Roch, M.A. 2015. Seven years of blue and fin whale call abundance in the Southern California Bight. Endang. Species Res. 28, p. 61-76.

Stafford, K.M., Moore, S.E., Fox, C.G. 2005. Diel variation in blue whale calls recorded in the eastern tropical Pacific. Anim. Behav. 69, p. 951-958.

Stafford, K.M., Mellinger, D.K., Moore, S.E., Fox, C.G. 2007. Seasonal variability and detection range modeling of baleen whale calls in the Gulf of Alaska, 1999-2002. J. Acoust. Soc. Am. 122(6), p. 3378-3390.

Stimpert, A.K., DeRuiter, S.L., Falcone, E.A., Joseph, J., Douglas, B.A., Moretti, D.J., Friedlander, A.S., Calambokidis, J., Gailey, G., Tyack, P.L., Goldbogen, J.A. 2015. Sound production and associated behaviour of tagged fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Southern California Bight. Anim. Biotelem. 3(23), p. 12.

Thompson, P.O., Findley, L.T., Vidal, O. 1992. 20-Hz pulses and other vocalizations of fin whales, *Balaenoptera physalus*, in the Gulf of California, Mexico. J. Acoust. Soc. Am. 92 (6), p. 3051-3057.

Watkins, W.A. 1981. Activities and underwater sound of Fin whales. Sci. Rep. Whales Res. Inst. v33, p. 83-117.

Watkins, W.A., Tyack, P., Moore, K., Bird, J.E. 1987. The 20-Hz signals of finback whales (*Balaenoptera physalus*). J. Acoust. Soc. Am. 82(6), p. 1901-1912.

Watkins, W.A., Daher, M.A, Reppucci, G.M., George, J.E., Martin, D.L., Dimarzio, N.A, Gannon, D.P. 2000. Seasonality and distribution of whale calls in the North Pacific. Oceanography 13 (1), p. 62-67.

Welch, P.D. 1967. The use of Fast Fourier Transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms. IEEE Trans. Audio Electroacoust. 15: 70-73.

Wiggins, S.M., Oleson, E.M., McDonald, M.A., Hildebrand, J.A. 2005. Blue whale (*Balaenoptera musculus*) diel call patterns offshore of Southern California. Aquat. Mamm. 31(2), p. 161-168.

8 TABLEAUX

Tableau 1 : Détails sur les déploiements des dispositifs d'enregistrement acoustique dans le cadre de cette étude

Emplacement	ID	Instrument	Profondeur du capteur (m)	Capteur	Date de début	Date de fin	Nombre total de jours	Facteur de charge (ENR.-PAUSE) (min)
Île Anthony (à l'ouest du cap St. James)	AM020	AURAL-M2	100	HTI-96-MIN	20 septembre 2009	15 juillet 2010	298	07:23
	AM025	AURAL-M2	100	HTI-96-MIN	15 juillet 2010	17 mai 2011	306	09,21
Péninsule Brooks	AM024	AURAL-M2	105	HTI-96-MIN	15 juillet 2010	2 avril 2011	261	4,5:10,5
	AM029	AURAL-M2	105	HTI-96-MIN	18 mai 2011	25 mai 2012	373	4,5:10,5
	AM045	AURAL-M2	105	HTI-96-MIN	4 juillet 2013	28 juin 2014	359	4,5:10,5
Sud-ouest du détroit d'Hécate	AM041	AURAL-M2	146	HTI-96-MIN	3 août 2012	6 mars 2013	215	4,5:10,5
	AM046	AURAL-M2	146	HTI-96-MIN	18 juillet 2013	23 avril 2014	279	4,5:10,5
Est du détroit d'Hécate	HEC1A	SM2M	51	HTI-92-WB	1er juillet 2014	30 juin 2015	365	2:58, sur l'heure
	HEC1B	SM2M	52	HTI-92-WB	1er juillet 2014	22 juin 2014	356	2:58, sur la demi-heure
Détroit de Caamaño	AM052	SM2M	35	HTI-92-WB	10 octobre 2013	3 février 2014	116	05:10
Île Triangle	AM028	AURAL-M2	135	HTI-96-MIN	18 mai 2011	18 mai 2012	366	4,5:10,5
	AM036	AURAL-M2	135	HTI-96-MIN	11 juin 2012	29 avril 2013	322	4,5:10,5
Mont sous-marin Bowie	AM031	AURAL-M2	235	HTI-96-MIN	24 juillet 2011	2 janvier 2012	162	09:06
	AM032	AURAL-M2	233	HTI-96-MIN	16 janvier 2012	22 avril 2012	97	09:06
	AM039	AURAL-M2	237	HTI-96-MIN	31 juillet 2012	15 juillet 2013	349	4,5:10,5
Dômes Dellwood	AM057	AMAR G3	336	Géospectrum M8Q	14 juillet 2014	30 juillet 2015	381	5,5:9,5

9 FIGURES

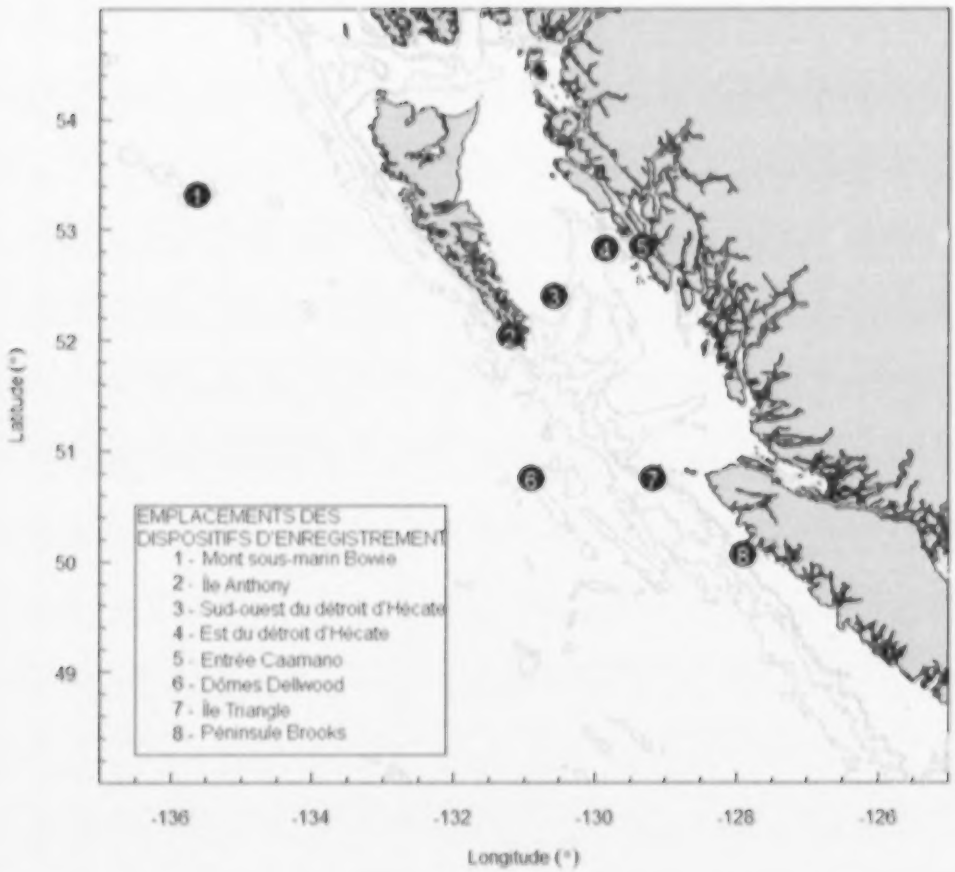

Figure 1 : Carte de la côte de la Colombie-Britannique montrant les emplacements où sont recueillies des données dans le cadre de cette étude. Elle comporte les isobathes de 200, 300, 1 000 et 1 500 m.

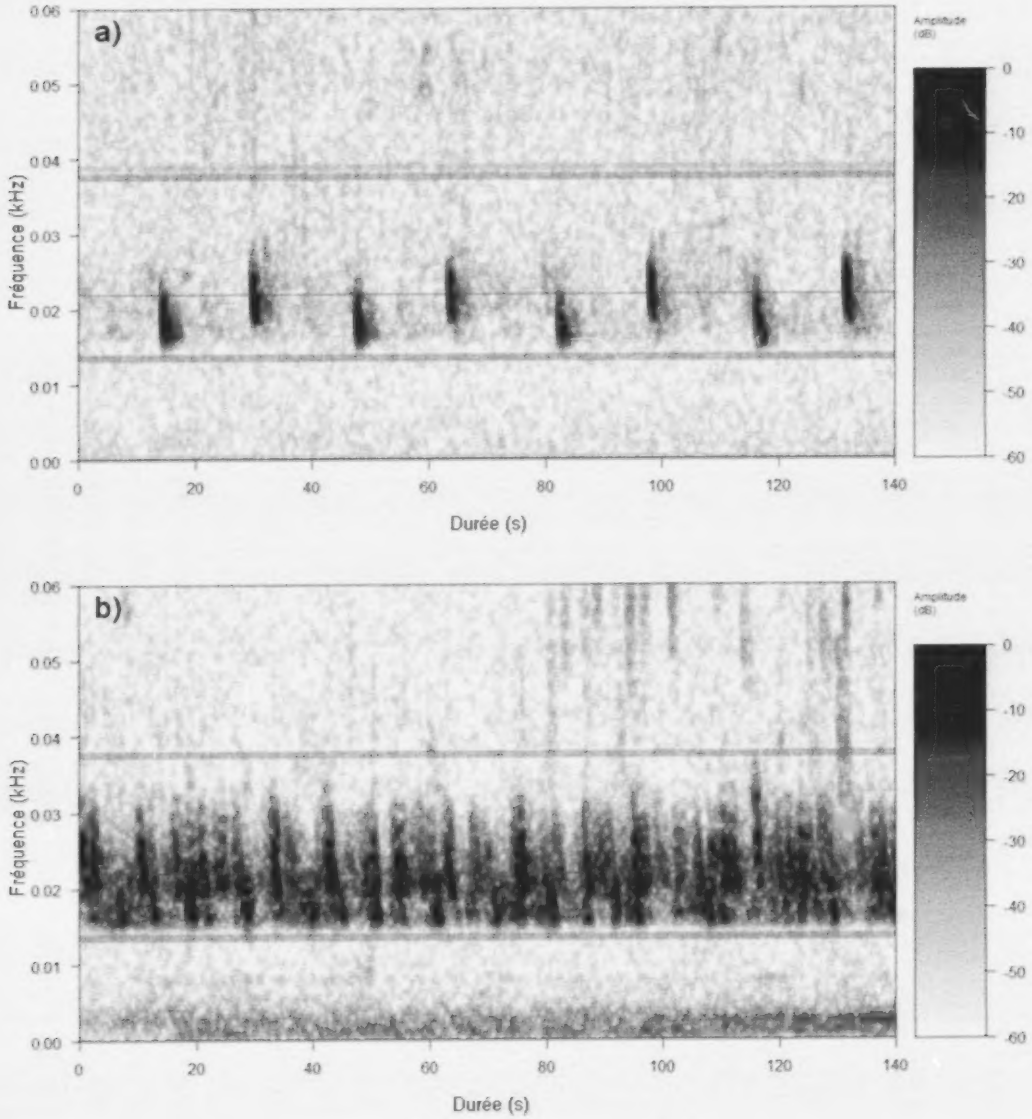

Figure 2 : Spectrogrammes des chants du rorqual commun dans : a) le détroit de Caamaño et b) le sud-ouest du détroit d'Hécate. Les bandes ombrées rouges à 13-14 Hz et à 37-38Hz indiquent les bandes utilisées pour représenter F_{brut} dans le calcul des indices des appels du rorqual commun. La ligne rouge à 22 Hz représente la bande de F_{commun} utilisée dans l'indice des appels du rorqual commun (paramètres du spectrogramme : longueur de la fenêtre = 2 048 échantillons, chevauchement = 90 %).

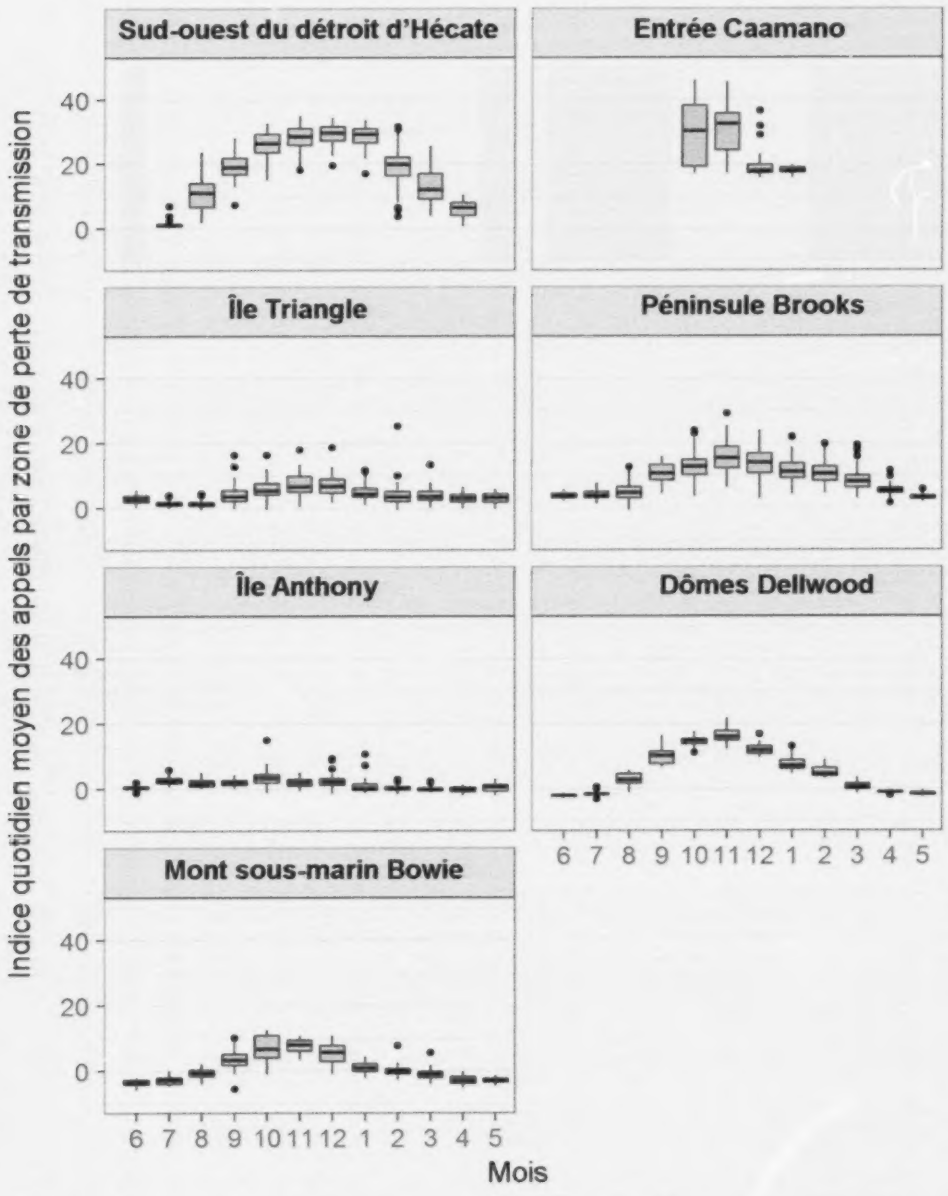

Figure 3 : Diagramme de quartiles montrant les valeurs de l'indice des appels quotidiens moyens corrigé par mois pour chaque site d'enregistrement, corrigé pour tenir compte de la zone de perte de transmission. La barre noire dans les cases représente la médiane, les limites supérieure et inférieure des cases représentent le 75^{e} et le 25^{e} percentiles, respectivement, les moustaches représentent les valeurs les plus élevées et les plus faibles au sein des 75^{e} et 25^{e} percentiles, et les points représentent les valeurs aberrantes. Il convient de noter que, sur l'axe des abscisses, les tracés ont été centrés sur le mois de novembre (période du pic des appels). Les régions ombrées gris pâle représentent les mois pour lesquels nous ne disposons pas de données. Voir la figure A1 de l'annexe pour prendre connaissance des valeurs non corrigées.

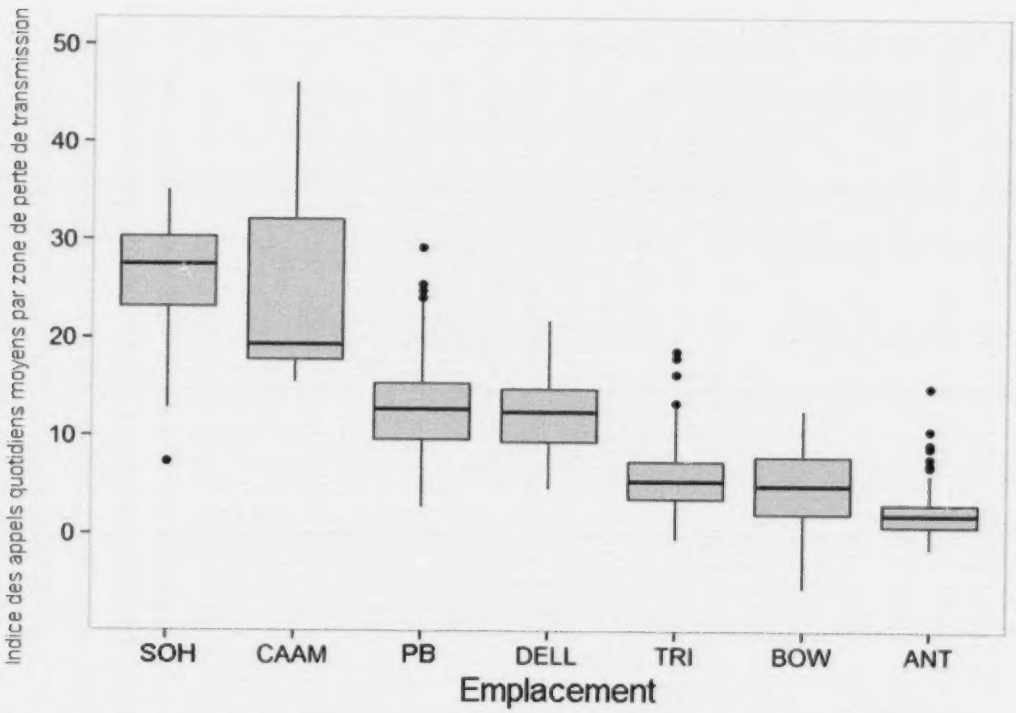

Figure 4 : Diagramme de quartiles montrant la plage des valeurs de l'indice des appels quotidiens moyens corrigé durant la période s'échelonnant entre le 1er septembre et le 31 janvier pour toutes les années et tous les emplacements disponibles; les données sont corrigées pour que l'on tienne compte de la zone de perte de transmission. Cette plage de dates englobe les périodes où on enregistre le pic des appels à tous les sites. Les tracés sont présentés par ordre descendant (de gauche à droite) et par valeurs médianes. SOH = sud-ouest du détroit d'Hécate, CAAM = détroit de Caamaño, PB = péninsule Brooks, DELL = Dômes Dellwood, TRI = île Triangle, BOW = mont sous-marin Bowie, ANT = île Anthony

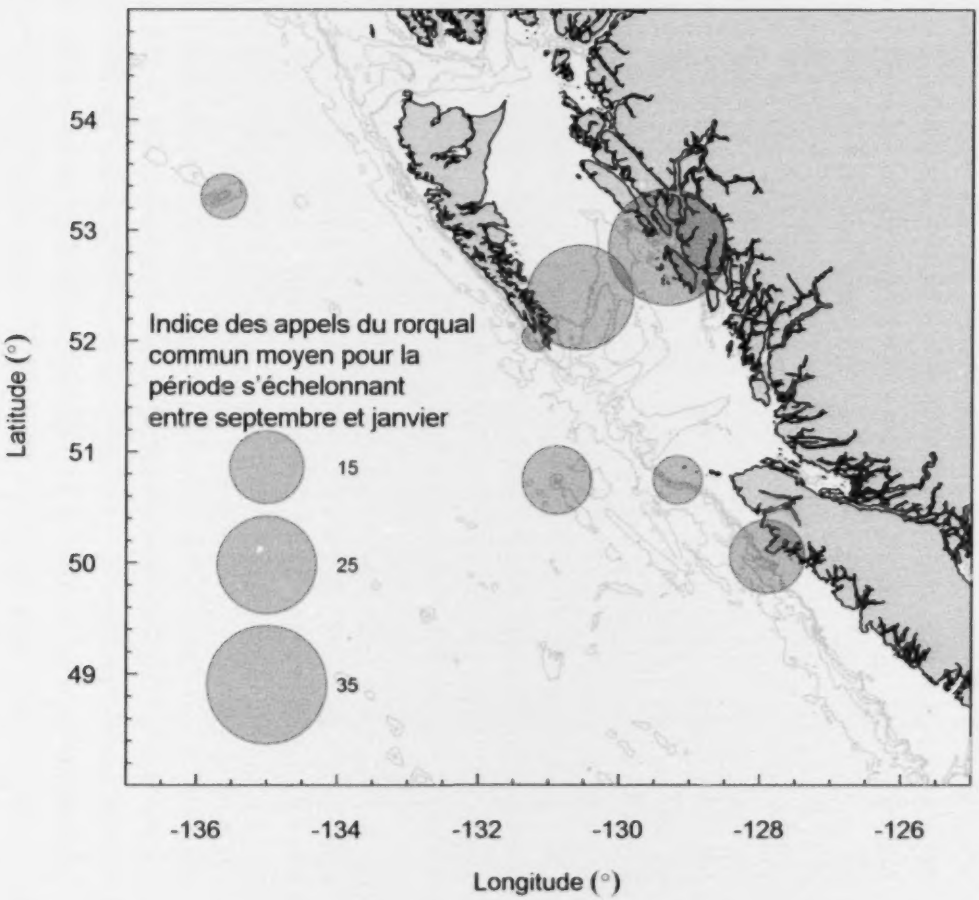

Figure 5 : Carte montrant les emplacements des dispositifs d'enregistrement acoustiques La taille des cercles rouges est proportionnelle aux valeurs de l'indice des appels quotidiens moyens (corrigé pour que l'on tienne compte de la zone et de la perte de transmission) entre le 1er septembre et le 31 janvier pour toutes les années disponibles à chaque site. Elle comporte les isobathes de 200, 300, 500, 1 000 et 2 000 m.

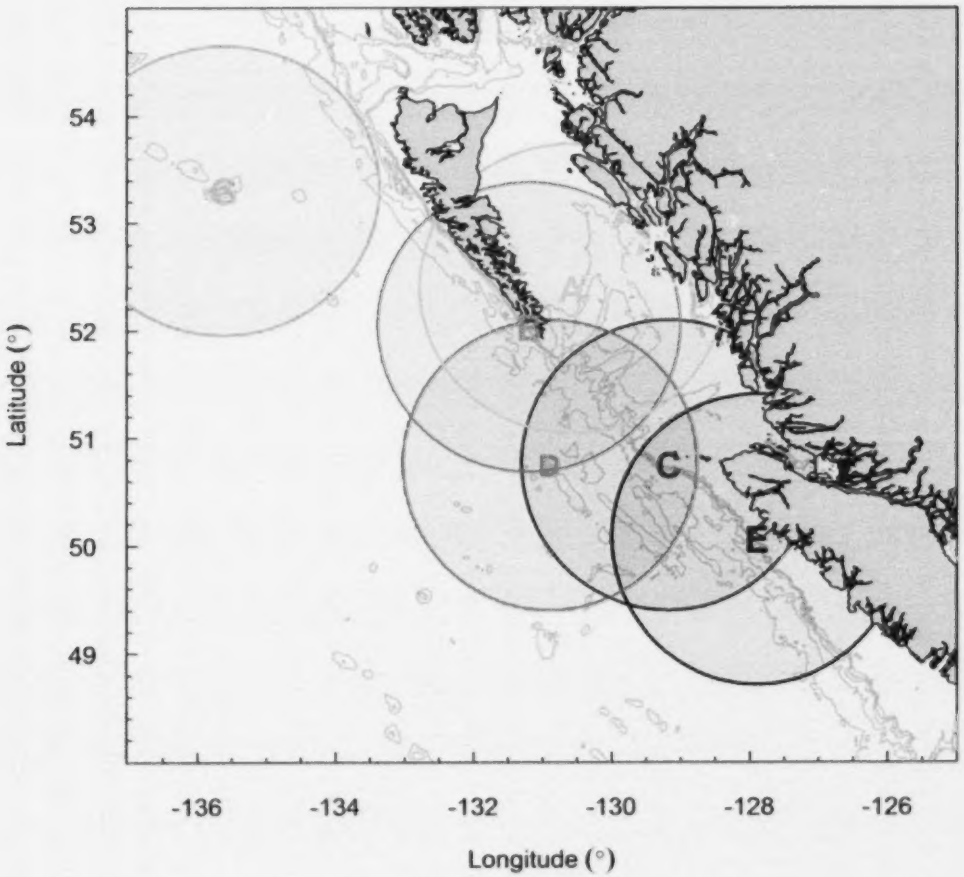

Figure 6 : Carte montrant les emplacements des dispositifs d'enregistrement avec des cercles radiaux de 150 km qui dépeignent les zones sur la superficie desquelles la perte de transmission a été mesurée. Il convient de noter que le rayon de F (détroit de Caamaño) diffère de ceux des autres stations (rayon de 50 km). Les cercles montrent le chevauchement général des zones, mais ne représentent pas nécessairement l'ampleur réelle du chevauchement à partir duquel les appels du rorqual commun seraient reçus à des stations multiples; pour davantage de détails, voir la figure 7. A = sud-ouest du détroit d'Hécate, B = île Anthony, C = île Triangle, D = dômes Dellwood, E = péninsule Brooks, F = détroit de Caamaño, G = mont sous-marin Bowie Ces lettres correspondent à celles utilisées sur la carte se trouvant à la figure 7.

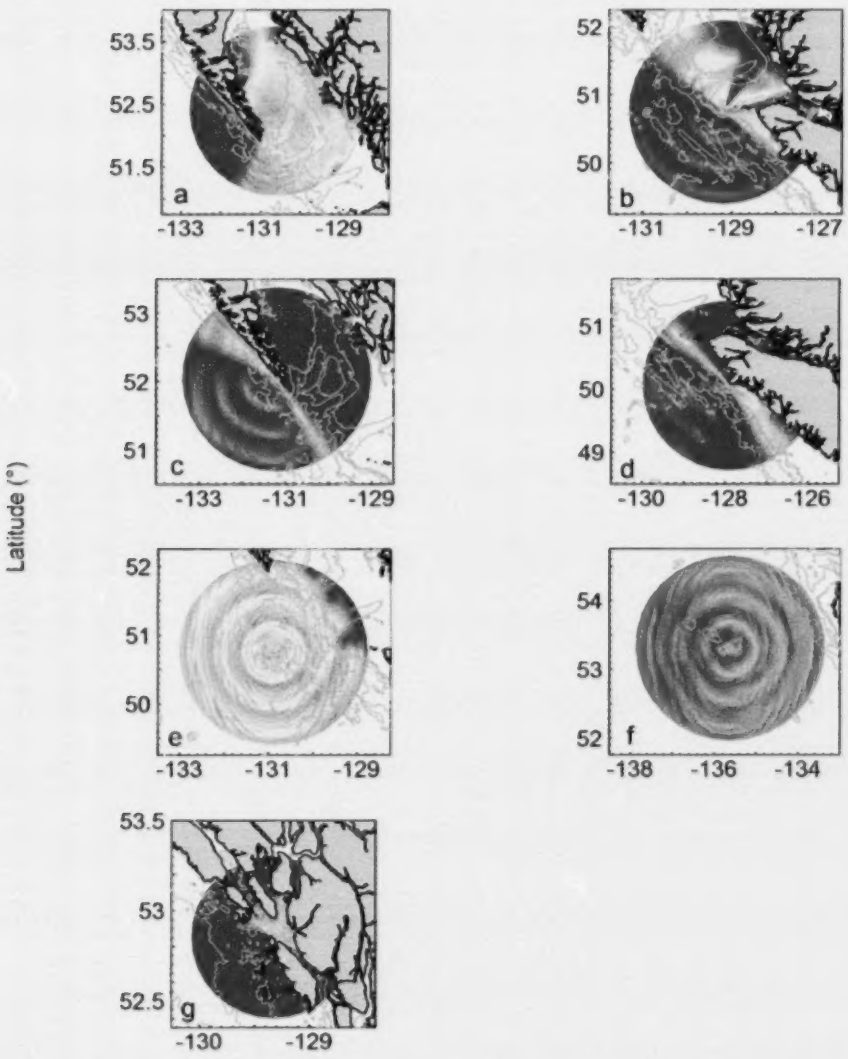

Figure 7 : Zones de perte de transmission pour tous les emplacements équipés d'un dispositif d'enregistrement. Chaque carte est mise à l'échelle de la PTMax propre au site pour le mois d'octobre. Le bleu foncé représente les zones à partir desquelles les appels du rorqual commun ne sont pas reçus au site équipé d'un hydrophone. Les couleurs plus chaudes représentent les zones à partir desquelles les appels reçus seraient plus intenses. A = sud-ouest du détroit d'Hécate, B = île Anthony, C = île Triangle, D = dômes Dellwood, E = péninsule Brooks, F = détroit de Caamaño, G = mont sous-marin Bowie

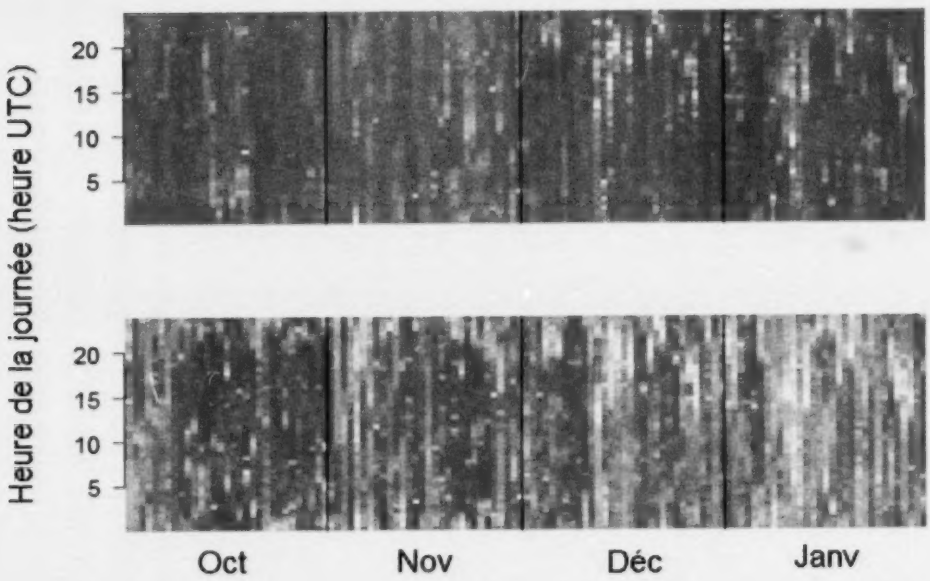

Figure 8 : Puissance additionnée de F_{commun} (panneau du haut) et de F_{brut} (panneau du bas) à des intervalles d'une demi-heure pour chaque jour entre le 1er octobre et le 31 janvier à la péninsule Brooks. L'échelle en couleur va du bleu (niveaux les plus bas) au rouge (niveaux les plus élevés). Il convient de noter la différence exceptionnellement à peine détectable pour le mois d'octobre et pour la bande de F_{commun} avant 0500 UTC (0500 UTC = 2000 HNP).

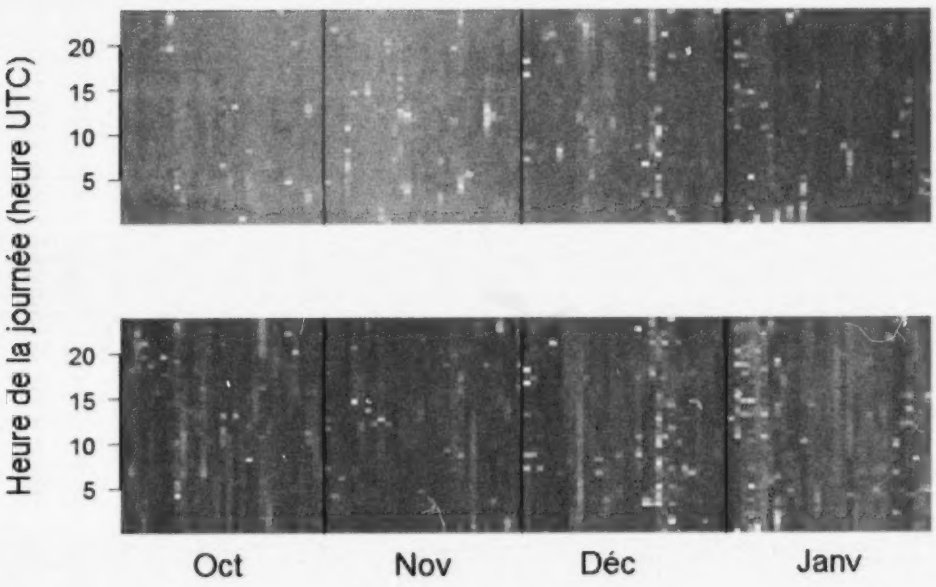

Figure 9 : Puissance additionnée de F_{commun} (panneau du haut) et de F_{brut} (panneau du bas) à des intervalles d'une demi-heure pour chaque jour entre le 1er octobre et le 31 janvier aux dômes Dellwood. L'échelle en couleur va du bleu (niveaux les plus bas) au rouge (niveaux les plus élevés). Il convient de noter la différence exceptionnellement à peine détectable pour le mois d'octobre et pour la bande de F_{commun} avant 0500 UTC (0500 UTC = 2000 HNP).

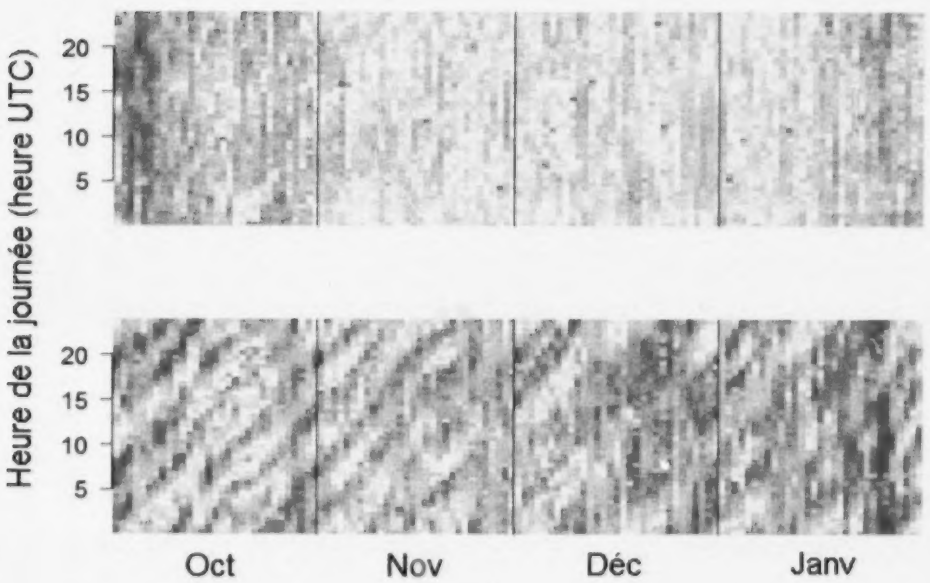

Figure 10 : Puissance additionnée de F_{commun} (panneau du haut) et de F_{bruit} (panneau du bas) à des intervalles d'une demi-heure pour chaque jour entre le 1er octobre et le 31 janvier dans le sud-ouest du détroit d'Hécate. L'échelle en couleur va du bleu (niveaux les plus bas) au rouge (niveaux les plus élevés). Il convient de noter qu'il n'y a pas de tendance évidente d'une différence entre les niveaux enregistrés le jour et les niveaux enregistrés la nuit (0500 UTC = 2000 HNP). Les bandes diagonales de l'énergie intense dans la bande de F_{bruit} est causée par un bruit d'écoulement dû aux courants autour de l'hydrophone.

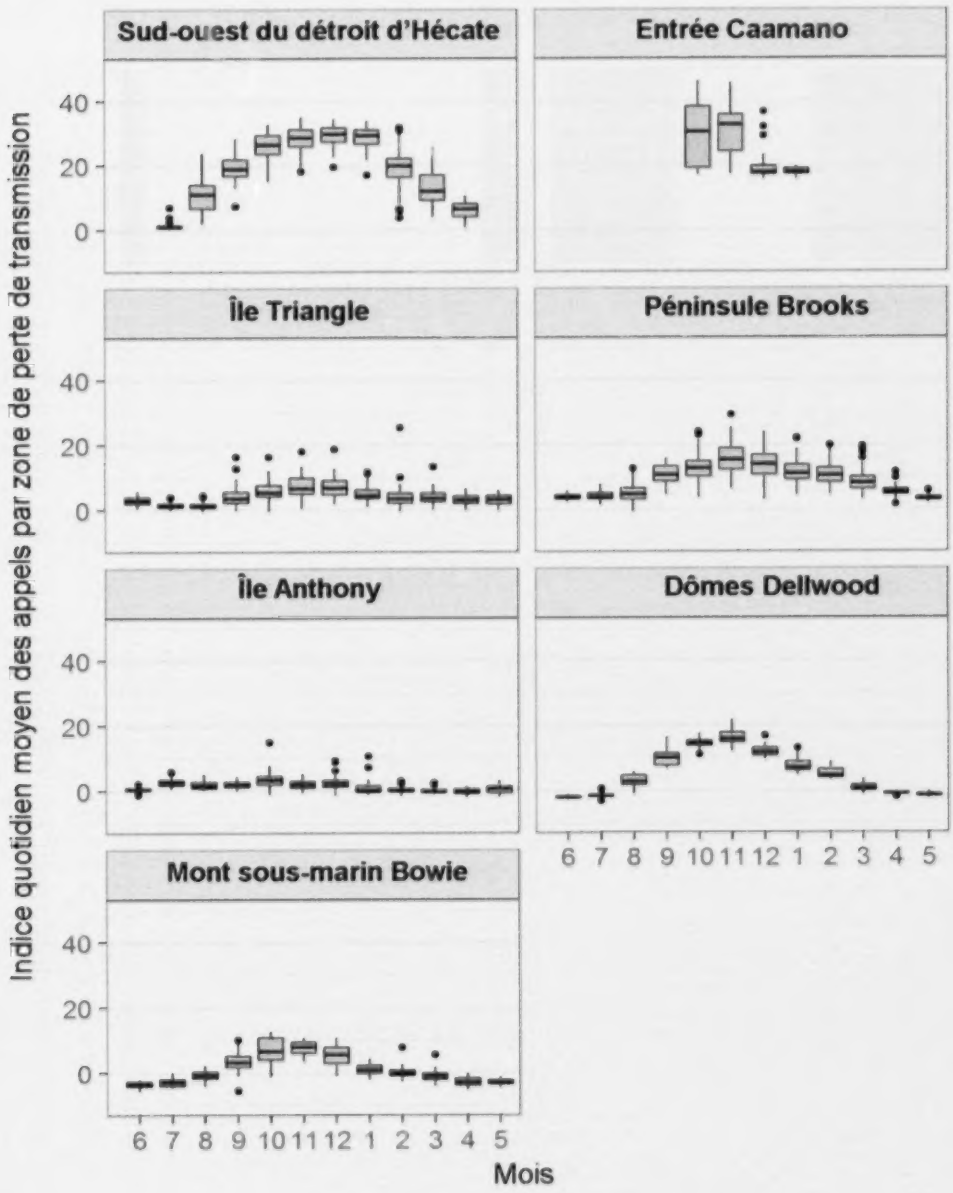

Figure A1 : Indices des appels quotidiens moyens non corrigés, à des fins de référence. Ces valeurs doivent être utilisées en combinaison avec celles se trouvant à la figure 3 si l'on veut examiner comment le facteur de correction a influé sur les données.